

DIALOG(R) File 351:Derwent WPI
(c) 2003 Thomson Derwent. All rts. reserv.

013337574 **Image available**
WPI Acc No: 2000-509513/ 200046
XRPX Acc No: N00-377131

Magnetic disk for computer, has non-magnetic film in which magnetic particles of specific total half width value are distributed in each cell

Patent Assignee: TOSHIBA KK (TOKE)
Number of Countries: 001 Number of Patents: 001
Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
JP 2000195036	A	20000714	JP 98372748	A	19981228	200046 B

Priority Applications (No Type Date): JP 98372748 A 19981228

Patent Details:

Patent No	Kind	Lan Pg	Main IPC	Filing Notes
JP 2000195036	A		24 G11B-005/66	

Abstract (Basic): JP 2000195036 A

NOVELTY - Magnetic particles (5) with total half width between particles is 20% or less of mean diameter are distributed on the continuous non-magnetic film (4). The minimum number of particles arranged within each cell (7) along track (4). The total half width value of adjacent particles is 40% or less than that of mean distance between adjacent particles.

DETAILED DESCRIPTION - Pores are formed on the non-magnetic film on the disk. The magnetizing area in the film consists of magnetic wall connecting the pores. The mean diameter of pore is 0.5 or triple that of mean width of magnetic wall. An INDEPENDENT CLAIM is also included for magnetic disk manufacturing method.

USE - For disk drive, used with computer, communication server for broadcasting stations.

ADVANTAGE - Improves S/N ratio, without minimizing the size of magnetic particles and anisotropic energy.

DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The figure shows the schematic view of non-porous magnetic disk.

Non-magnetic film (4)
Magnetic particles (5)
Cell (7)

pp; 24 DwgNo 2/18

Title Terms: MAGNETIC; DISC; COMPUTER; NON; MAGNETIC; FILM; MAGNETIC; PARTICLE; SPECIFIC; TOTAL; HALF; WIDTH; VALUE; DISTRIBUTE; CELL

Derwent Class: T03

International Patent Class (Main): G11B-005/66

International Patent Class (Additional): G11B-005/84

File Segment: EPI

Manual Codes (EPI/S-X): T03-A01A8; T03-A01B1B; T03-A01B5C; T03-A01F

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2000-195036
(P2000-195036A)

(43) 公開日 平成12年7月14日 (2000.7.14)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード [*] (参考)
G 1 1 B 5/66		G 1 1 B 5/66	5 D 0 0 6
5/84		5/84	Z 5 D 1 1 2

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願平10-372748

(22) 出願日 平成10年12月28日 (1998.12.28)

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 市原 勝太郎

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 喜々津 哲

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(74) 代理人 100058479

弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

Fターム (参考) 5D006 BB07 DA03 FA09

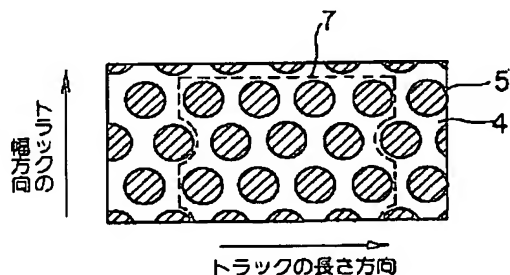
5D112 AA05 AA24 FB24 FB27 GA27

(54) 【発明の名称】 磁気記録媒体とその製造方法

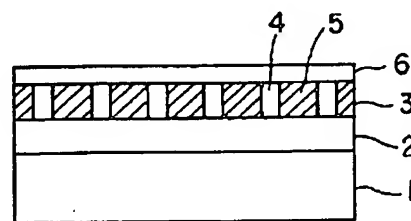
(57) 【要約】

【課題】 S/Nを向上し高密度化を実現することが可能な磁気記録媒体を提供する。

【解決手段】 規則的に配列する複数の磁性粒子を備え、最小磁気記録セル内に含まれる磁性粒子について、トラックの長さ方向に配列する粒子数が少なくとも4個であり、最近接粒子間の距離の分布の全半値幅が最近接粒子間の平均距離の±40%以下であり、粒径分布の全半値幅が平均粒径の±20%以下であることを特徴とする磁気記録媒体。



(a)



(b)

【特許請求の範囲】

【請求項1】 連続非磁性膜中に配列された複数の磁性粒子を備え、最小磁気記録セル内に含まれる磁性粒子について、

トラックの長さ方向に配列する粒子数が少なくとも4個であり、

最近接粒子間の距離の分布の全半値幅が最近接粒子間の平均距離の $\pm 40\%$ 以下であり、

粒径分布の全半値幅が平均粒径の $\pm 20\%$ 以下であることを特徴とする磁気記録媒体。

【請求項2】 連続磁性膜中に配列された複数の非磁性ボアを備え、磁性膜中の磁化転移部が非磁性ボアを連結する磁壁からなり、非磁性ボアの平均粒径が磁壁の平均幅の0.5ないし3倍であることを特徴とする磁気記録媒体。

【請求項3】 最小磁気記録セル内の最近接ボア間の距離の分布の全半値幅が、最近接ボア間の平均距離の $\pm 40\%$ 以下であることを特徴とする請求項2記載の磁気記録媒体。

【請求項4】 (a) 自己組織化により配列された開口を有するマスクを連続非磁性膜上に配置する工程と、

(b) マスクの上からイオンビームを照射して連続非磁性膜中に配列された複数の孔を形成する工程と、

(c) 該孔中に磁性体を充填して磁性粒子を形成する工程とを含むことを特徴とする磁気記録媒体の製造方法。

【請求項5】 (a) 連続磁性膜上に感光層を配置する工程と、

(b) 自己組織化により配列された開口を有するマスクを感光層上に配置する工程と、

(c) マスクの上から光もしくは電子を照射して感光層を露光したのち、この感光層を現像して、該開口部に対応する部分が残るマスクパターンを形成する工程と、

(d) 該マスクパターンに従って、連続磁性膜中に配列された複数の磁性粒子を形成する工程と、

(e) 磁性粒子間に非磁性体を充填する工程とを含むことを特徴とする磁気記録媒体の製造方法。

【請求項6】 前記各工程により、連続非磁性膜中に配列された複数の磁性粒子を備え、最小磁気記録セル内に含まれる磁性粒子について、トラックの長さ方向に配列する粒子数が少なくとも4個であり、最近接粒子間の距離の分布の全半値幅が最近接粒子間の平均距離の $\pm 40\%$ 以下であり、粒径分布の全半値幅が平均粒径の $\pm 20\%$ 以下であることを特徴とする磁気記録媒体を製造することを特徴とする請求項4または5記載の磁気記録媒体の製造方法。

【請求項7】 (a) 自己組織化により配列された開口を有するマスクを連続磁性膜上に配置する工程と、

(b) マスクの上からイオンビームを照射して連続磁性膜中に配列された複数の孔を形成する工程と、

(c) 該孔中に非磁性体を充填して非磁性ボアを形成する工程とを含むことを特徴とする磁気記録媒体の製造方法。

法。

【請求項8】 前記各工程により、連続磁性膜中に配列された複数の非磁性ボアを備え、磁性膜中の磁化転移部が非磁性ボアを連結する磁壁からなり、非磁性ボアの平均粒径が磁壁の平均幅の0.5ないし3倍である磁気記録媒体を製造することを特徴とする請求項7記載の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、磁気的に情報の記録・再生を行う磁気記録媒体とその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 磁気記録媒体は、主に固定型磁気ディスク装置として、パーソナルデータファイル、通信サーバ、大型計算機用ファイル等に幅広く普及するとともに、主に磁気テープ装置として、個人向け、放送局向けの画像・音声ファイル等に幅広く普及している。これは、磁性結晶粒子の集合体である磁気記録媒体の磁化反転速度すなわち記録データ転送速度が数100Mbps以上と格段に速く、また、数10Gb/in²程度もの高記録密度化が可能であるからである。高記録密度化は、磁性粒子間の交換相互作用の低減による粒子の孤立化と磁性粒子の微細化によって実現されている。磁気記録媒体は、今後もマルチメディア時代へ向けて情報量の飛躍的増加が続く中で、さらなる高速転送化および高密度化が期待されている。

【0003】 磁気記録媒体のうち、特に高記録密度化が進んでいる固定型磁気ディスク装置(HDD)の面記録密度は、過去5年以上にわたり平均年率で60%以上の向上を示し、現在は数Gb/in²に達している。このような面密度の向上は、磁気抵抗効果型再生方式の採用、記録磁極材料の高飽和磁束密度化、狭トラックヘッド加工技術の向上、磁気ヘッドの狭ギャップ化、スライダの小型化・高精度加工化、サーボの高精度化、PRMLに代表される新変復調技術の導入等、様々な要素技術の改革と改善によるものである。また、磁気記録媒体自体については、表面平滑化・平坦化によるヘッド浮上量低下、磁性層の高保磁力化・薄膜化による磁化転移幅の短縮、磁性粒子間の交換相互作用低減と磁性粒子の微細化による媒体ノイズ低減等の要素技術の進展が進んでいる。

【0004】 上述のような従来のいわゆる多粒子系磁気媒体においては、低ノイズ化のために、媒体磁性粒子の孤立化・微細化を進めていくと、熱擾乱のために記録密度限界を迎えることが分かっている。

【0005】 以下、この熱擾乱について概説する。記録密度を向上すれば、媒体に形成される記録セルサイズは縮小化し、媒体から発生する信号磁界強度は低下する。システムが要求するS/N比を満足するためには、低下した信号量の分だけノイズを低下させなければならぬ

い。媒体ノイズは、主に磁化転移部の揺らぎに起因し、この磁化転移部の揺らぎ量は磁性粒子の磁化反転単位のサイズに比例する。従って、媒体ノイズを低下させるためには、磁性粒子間の交換相互作用を断ち切って磁性粒子を孤立化させる（磁化転移部の揺らぎを1つの磁性粒子のサイズのオーダーに低下させる）こと、および磁性粒子を微細化することが必要である。

【0006】孤立化した1つの磁性粒子が持つ磁気的なエネルギーは、粒子の磁気異方性エネルギー密度と粒子の体積の積で与えられる。磁化転移幅を短縮させるために媒体を薄膜化すること、および低ノイズ化の要求を満たすために磁性粒子を微細化することは、磁性粒子体積の著しい低下を招き、粒子の持つ磁気的なエネルギーを著しく低下させる。粒子の磁気的エネルギーが、磁気メモリーとしての動作温度（少なくとも室温）での熱的なエネルギーの数100倍あれば、熱擾乱に対する耐性は十分であると考えられる。しかし、粒子の磁気エネルギーが熱的なエネルギーの100倍を下回ると、熱擾乱によって磁性粒子の磁化の向きが変化し、記録した情報が失われる可能性がある。これが熱擾乱問題であり、HDDの面密度が40～50 Gb/in²程度で限界を迎えるといわれる理由である。

【0007】熱擾乱問題を打破する方法はいくつか提案されている。

【0008】1つは磁性粒子材料に磁気異方性の高い材料を使うことである。しかし、磁気異方性を高くすると媒体が要求する記録飽和磁界が大きくなってしまい、記録ヘッド磁極材料をさらに高飽和磁束密度化する必要が出てくる。これは、研究レベルも含めて入手可能な軟磁性膜材料を考える限り、実用的な方法とはなり得ない。

【0009】他の1つは光熱アシスト記録である。この方法は、高磁気異方性の材料を用いて記録時に光照射で記録部分を加熱し、磁性粒子の異方性と記録飽和磁界を低下させて入手可能な記録ヘッドで記録するものである。しかし、この方法は、ディスク間を含めてドライブ内に余分なスペースがほとんどないHDDに光照射系を設ける必要があるため、やはり実用的ではない。また、この方法は、消費電力の増加、それに伴う発熱量の増加を伴う。

【0010】熱擾乱問題を解決する他の方法として、SILやエバネセント光を用いた近接光記録の方法が、HDDの記録密度限界を打破するための技術シーズとして提案されている。しかし、光記録は、ヒートモードプロセスを採用するかぎり、磁気記録並みの高転送速度を実現するのは不可能である。また、フォトンモードの超高速・超高密度材料を用いる方法も提案されているが、この方法はまだ探索研究の段階にあり、技術としては未完成である。

【0011】以上の方法は、磁気記録の高密度化を物理的に妨げている媒体の熱擾乱の問題については、適切な

解を与え得るものではない。

【0012】熱擾乱問題を解決するための方法として最も効果的であると考えられるのは、非磁性体のマトリクス中に規則的に配列された磁性粒子を有する磁気記録媒体（以下、規則的磁性粒子媒体と呼ぶ）を用いること、および、連続磁性体の中に規則的に配列された非磁性体の粒子（ボア）を有する磁気記録媒体（以下、規則的非磁性ボア媒体と呼ぶ）を用いることである。

【0013】まず、規則性磁性粒子媒体について説明する。従来のCoCr系などの多粒子系磁気媒体においては、磁性粒子間の交換結合を低下させる上で、磁性粒子間に主にCrリッチな非磁性粒界を析出する構造を有している。しかしながら、粒径および粒子間距離のバラツキが大きく、また、粒子が不規則に配列しているために、粒子間の交換相互作用を分断して粒子を孤立化させても、媒体ノイズは十分には低下せず記録密度向上の阻害要因となっていた。

【0014】具体的には、粒径のバラツキは粒径の分布の全半値幅（FWHM）で表現すると、典型的な媒体で±50%前後、低速スパッタリング等の工夫を施してバラツキを抑制した媒体でも±25%以上の値を示している。例えば平均粒径が20 nmの媒体は典型的な例では10 nm～30 nmの間に多数の粒子を有し、粒径が10 nm未満で熱擾乱の影響を強く受けている粒子も相当数存在する事を意味する。

【0015】粒子間バラツキはより顕著で、典型的な例ではFWHMで±70%、良く調整された例でも±45%以上である。すなわち、平均粒子間距離が2 nmの媒体は、典型例では0.6 nm～3.4 nmの粒子間距離の粒子を多数有し、粒子同士が連結して交換結合状態にあるものも相当数ある事を意味する。さらに、粒子配列には全く規則性が見られずランダムである。

【0016】規則的に配列する磁性粒子を具備する磁気記録媒体の例としては、例えばJ. Appl. Phys. 76(10)6673, 1994に記載されているものを挙げる事ができる。これは、Siウェファー上にAuメッキシード層とレジストをコートした試料を電子ビーム（EB）直描で露光し、現像後EB直描で形成した複数の微小孔中にNiをメッキ成長させて、直径35 nmのNiピラーアレーを100 nm間隔で規則的に形成したものである。

【0017】上述の文献に記載されている媒体は、磁気記録媒体への応用を念頭に置いて研究されているが、具体的にどのように用いるのかは開示されていない。この文献においては、単に媒体が100 nm間隔のパターンを有するので、65 Gb/in²の記録密度が実現する可能性を示唆するに止まっている。つまり、この文献では、磁性粒子1つを最小記録単位と捉えて、最小記録セル内に1つの磁性粒子を存在させるとしているが、このような小さな記録単位を用いて記録再生を行うための

磁気ヘッド、サーボ系等の装置については全く記載されていない。

【0018】EB直描法を用いて規則的に配列した磁性粒子を作製した例は上記の他に、J. Vac. Sci. Technol. B13(6)2850, 1995およびJ. Vac. Sci. Technol. B12(6)3196, 1994に記載されているものを挙げることができる。これらは規則的に配列する磁性粒子群のEB直描プロセス以外の作製方法が微妙に異なるが、粒子1つを最小記録単位としている点で一致している。また、これらの文献においては、磁性粒子サイズ分布、粒間分布などについては記載されていない。

【0019】しかし、EB直描は、研究室レベルで1つの試料を作製するために用いる上では問題がないが、工業的に磁気媒体を製造するプロセスに用いる上ではコスト、生産性の観点から不適切であることは言うまでもない。

【0020】また、磁性粒子1つを最小記録単位とする方法は、記録・再生ヘッドの格段の狭トラック化、再生ヘッド感度の格段の向上、サーボ精度の格段の向上等、媒体以外の要素に著しい負担を強いる。また、例えば高分解能のヘッドができたとしても、1つの粒子が1つの記録セルを構成するので媒体ノイズが高く十分なS/Nが得られない。

【0021】また、従来の磁気媒体ではアドレスパターンもしくはサーボパターンは、磁気ディスク装置の製造者が磁気記録して形成していた(サーボライト)。J. Appl. Phys. 69(8)4724, 1991の文献に、アドレスパターン、サーボパターンを薄膜のパターニングで実施することが提案されている。しかし、この文献で用いられている媒体は、磁性粒子が規則的に配列されたものではない。

【0022】また、磁気媒体の製造方法については、Jpn. J. Appl. Phys. 30(2)282, 1991, および、J. Electrochem. Soc. 122(1)32, 1975に、ポーラスアルマイト中に磁性体をメッキ成長した方法が開示されている。この方法では、媒体としては好ましくはCo-Cr合金が用いられ、結晶粒界にCrリッチな非磁性体を析出することで結晶粒間の交換相互作用を低減して低ノイズ化を図っている。しかし、マトリクスは Al_2O_3 に限定され、磁性材料もメッキ成長が可能なCo, Co-Cr, Co-Ni, Fe-Cu, Fe-P等に限定されている。

【0023】次に、規則的非磁性ボア媒体について説明する。磁性連続膜に記録を行うと磁壁の形状が大幅に乱れるために媒体ノイズが極めて大きい。そのため、磁気記録には磁性連続膜が使用されず、代わりに多粒子系磁気媒体が使われている。磁性連続膜に非磁性ボアを規則的に配列させることにより、磁壁の形状の乱れを防ぐこ

とができる。

【0024】前述した熱擾乱は、高密度化に伴う磁性粒子の体積の低下に起因する。規則的非磁性ボア媒体のように磁性体自身が連続的な形態である場合は、磁性体の体積は無限大と捉えて差し支えない。従って、規則的非磁性ボア媒体においては、非磁性ボアを微細化して高密度化させても熱擾乱の問題は全くない。

【0025】磁性連続膜中に非磁性ボアを配列させた例は、IEEE-Trans. Magn. 34(4), 1609, 1998 6の文献にネットワーク媒体として開示されている。この文献は、多粒子系磁性膜に非磁性ボアを規則的に配列させた仮想の媒体のノイズシミュレーションに関する文献である。この文献では、非磁性ボアサイズ、ボア間距離の分布、アドレスパターン、サーボパターンについては全く触れられていない。

【0026】

【発明が解決しようとする課題】本発明は上記課題に鑑みてなされたものであり、S/Nを向上し高密度化を実現することが可能な磁気記録媒体およびその製造方法を提供することを目的とする。

【0027】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、連続非磁性膜中に配列された複数の磁性粒子を備え、最小磁気記録セル内に含まれる磁性粒子について、トラックの長さ方向に配列する粒子数が少なくとも4個であり、最近接粒子間の距離の分布の全半値幅が最近接粒子間の平均距離の $\pm 40\%$ 以下であり、粒径分布の全半値幅が平均粒径の $\pm 20\%$ 以下であることを特徴とする磁気記録媒体が提供される。

【0028】また、本発明によれば、連続磁性膜中に配列された複数の非磁性ボアを備え、磁性膜中の磁化転移部が非磁性ボアを連結する磁壁からなり、非磁性ボアの平均粒径が磁壁の平均幅の0.5ないし3倍であることを特徴とする磁気記録媒体が提供される。

【0029】本発明においては、最小磁気記録セル内の最近接ボア間の距離の分布の全半値幅が、最近接ボア間の平均距離の $\pm 40\%$ 以下であることが好ましい。

【0030】本発明によれば、(a)自己組織化により配列された開口を有するマスクを連続非磁性膜上に配置する工程と、(b)マスクの上からイオンビームを照射して連続非磁性膜中に配列された複数の孔を形成する工程と、(c)該孔中に磁性体を充填して磁性粒子を形成する工程とを含むことを特徴とする磁気記録媒体の製造方法が提供される。

【0031】また、本発明によれば、(a)連続磁性膜上に感光層を配置する工程と、(b)自己組織化により配列された開口を有するマスクを感光層上に配置する工程と、(c)マスクの上から光もしくは電子を照射して感光層を露光したのち、この感光層を現像して、該開口部に対応する部分が残るマスクパターンを形成する工程

と、(d)該マスクパターンに従って、連続磁性膜中に配列された複数の磁性粒子を形成する工程と、(e)磁性粒子間に非磁性体を充填する工程とを含むことを特徴とする磁気記録媒体の製造方法が提供される。

【0032】本発明においては、前記各工程により、連続非磁性膜中に配列された複数の磁性粒子を備え、最小磁気記録セル内に含まれる磁性粒子について、トラックの長さ方向に配列する粒子数が少なくとも4個であり、最近接粒子間の距離の分布の全半値幅が最近接粒子間の平均距離の $\pm 40\%$ 以下であり、粒径分布の全半値幅が平均粒径の $\pm 20\%$ 以下である磁気記録媒体を製造することが好ましい。

【0033】さらに、本発明によれば、(a)自己組織化により配列された開口を有するマスクを連続磁性膜上に配置する工程と、(b)マスクの上からイオンビームを照射して連続磁性膜中に配列された複数の孔を形成する工程と、(c)該孔中に非磁性体を充填して非磁性ボアを形成する工程とを含むことを特徴とする磁気記録媒体の製造方法が提供される。

【0034】本発明においては、前記各工程により、連続磁性膜中に配列された複数の非磁性ボアを備え、磁性膜中の磁化転移部が非磁性ボアを連結する磁壁からなり、非磁性ボアの平均粒径が磁壁の平均幅の0.5ないし3倍である磁気記録媒体を製造することが好ましい。

【0035】

【発明の実施の形態】本発明は、規則的磁性粒子媒体および規則的非磁性ボア媒体の磁気記録媒体、およびそれらの製造方法に係るものである。

【0036】規則的磁性粒子媒体、規則的非磁性ボア媒体とも、数10nm以下のサイズの磁性粒子もしくは非磁性ボアが規則的に配列している形態である。

【0037】以下、図面を参照して本発明を詳細に説明する。

<本発明に係る磁気記録媒体の構成>

(A)規則的磁性粒子媒体

図1は、本発明に係る規則的磁性粒子媒体の一例を示す概略図であり、図1(a)は平面図、図1(b)は断面図である。

【0038】図1に示す規則的磁性粒子媒体においては、基板1の上にシード層2が形成され、シード層2の上に磁気記録層3が形成されている。磁気記録層3は、非磁性マトリクス4の中に規則的に配列された複数の磁性粒子5からなる。磁気記録層3の上に保護層6が形成されている。なお、規則的に配列されているとは、最近接磁性粒子間の距離の分布の全半値幅が最近接磁性粒子間の平均距離の $\pm 40\%$ 以下であることである。

【0039】基板1を形成する材料としては、ガラス、Si、またはこれらの上にNiPコートされた材料など、通常の磁気媒体に用いられている材料と同様のものが挙げられる。

【0040】シード層2は磁性層3の結晶性を制御するための層であるが、なくても良い。シード層2としては、Cr、Cr合金系、Cr、NiFeなどが挙げられる。

【0041】シード層2の膜厚は好ましくは0~200nm(0nmはシード層2がない形態)、より好ましくは0~100nmである。

【0042】シード層の意味は、長手記録の場合には主に、記録層の結晶性制御であり、記録層の主成分がCoである場合には、Coのhcp結晶と格子定数ミスマッチングの比較的少ないCr系もしくはV系の合金をシード層として用いることができる。シード層は基板面上にコーン状もしくは柱状に成長するが、膜厚が薄すぎる場合にはシード層自身の結晶性が不十分でシード層としての効果が不十分である。シード層の薄膜領域での結晶性は成膜方法にも依存し、超高真空スパッタ法を適用した場合には、50nm以下の膜厚例えば20nmでも十分に良好な結晶性を呈する。従って、記録層の結晶性制御の意味でのシード層の膜厚の下限は20nm以下ということが出来るが、本発明の磁気媒体においては、マトリクス材料にシード層の機能を担わせることが可能であるので、シード層が無い形態(0nm)、および結晶性が未だ不十分だがマトリクスによる磁性粒子の結晶性制御効果を助長するには使える0~20nmの膜厚のシード層も本発明には適用させることができる。また、磁性粒子材料としてRE-TMのような非晶質磁性体を用いる場合には、結晶性制御の意味でのシード層、結晶性制御の意味でのマトリクス材料の選定は不要である。シード層が無い形態では記録層は基板に直接形成されていても、シード層以外の何らかの下地層の上に形成されていても良い。シード層が厚すぎる場合には、シード層表面の結晶粒サイズが過大となり、その上に形成される記録層の粒径微細化を損ねる。従って、シード層の膜厚の上限は好ましくは200nm、より好ましくは100nm、さらに好ましくは50nmである。

【0043】磁気記録層3の膜厚は、好ましくは5~50nm、より好ましくは10~25nmである。膜厚の下限は熱擾乱耐性で決まるので、用いる磁性材料によって変わる。例えばCo-Cr系磁性材料では10nm未満では十分な熱擾乱耐性を確保できないので膜厚の下限は10nmであり、Co-Pt系、Fe-Pt系などの磁気異方性の高い磁性材料では、7nm程度の膜厚まで十分な熱擾乱耐性を示し、さらに異方性の高いSm-Co系磁性材料の場合は5nmでも十分な熱擾乱耐性を示す。上限は分解能で決まる。分解能の指標は長手媒体では Mrt/Hc であるので、Hcが高い場合には記録層の膜厚tは厚くできる。記録層厚の上限は線記録密度(分解能の要求値)とHcに依存するが、厚くても50nm、より好ましくは25nmとするのが良い。

【0044】非磁性マトリクス4としては、C(炭

素), Si-O, Si-N, Si-C, Ti-N, Ti-C, Al-N, Ta-O, Ta-N, Al-O, IT-O, In-N, In-O, B-N, Zr-N, Zr-O, PTFEなどの酸化物、窒化物、炭化物、硼化物、有機物から幅広く選択できる。

【0045】磁性粒子5を形成する材料は、Co基合金、希土類・遷移金属合金(RE-TM)(RE:希土類、TM:遷移金属)、磁性酸化物などの材料の中から幅広く選択する事が可能である。Co基合金としての例を挙げると、Co-Cr、Co-Pt、Co-Fe、Co-Cr-Ta、Co-Cr-Pt、Co-Cr-Pt-Ta、Co、Fe、Tb-Fe、Tb-Co、Tb-Fe-Co、Gd-Tb-Fe-Co、Gd-Dy-Fe-Co、Nd-Fe-Co、Nd-Tb-Fe-Co、PtMnSb、Coフェライト、Baフェライト等である。

【0046】上述した磁性粒子材料のうち、本発明において特に好適な材料は、Co-Pt基合金、Co-Tb、Co、Co-Fe、希土類・遷移金属合金などの偏析の少ない磁性材料である。

【0047】本発明の磁気記録媒体の製造は、好ましくはイオンビームなどを用いたドライプロセスによって行なう。ドライプロセスであるため、磁性材料、マトリクス材料の選択範囲が広くかつ所望の磁気特性が得られやすい。

【0048】保護層6としては、Cなどが挙げられるが、保護層6はなくても良い。

【0049】保護層6の膜厚は好ましくは0~20nm(0nmは保護層6がない形態)、より好ましくは0~10nmである。下限は記録層の保護機能で規定される。従来の磁性粒子が粒界で囲まれた微細構造の多粒子ランダム・メタル媒体の場合には、それ自身は機械的・化学的安定性が不十分なため、C系を代表とする保護膜のコートは必須で、最低でも10nm程度の保護膜を必要とした。本発明では磁性粒子の保護機能をマトリクス材料に担わせることができるので、保護膜は無くても良い(0nm)。また、マトリクスによる保護機能を助長するために0~10nmの範囲の保護膜を設けるのもさらに効果的である。保護膜厚の上限はスペーシングロスで規定される。保護膜厚が厚いほど、ヘッドからの記録磁界の急峻性を損ね、また、媒体から発生する信号磁界の空間的急峻性も損ねるので、線密度の向上を阻害する。保護膜厚の上限は、線密度、ヘッド構造、ヘッド浮上量などにも依存するが、厚くても20nm、好ましくは10nmである。

【0050】磁性層3の結晶磁気異方性および磁気特性は、上述のシード層2材料の結晶性、シード層2の膜厚、磁性層3の材料、磁性層3の膜厚を調整することにより、調整することができる。

【0051】例えば、シード層2に比較的厚膜のCrを用いて、磁性層3に比較的薄膜のCo-Pt、Co-Feを用いた場合には、磁性層3は面内に磁気異方性を示す。また、例えば、シード層2に比較的厚膜のCrを用いた場合には、磁性層3は三次元的にランダムな磁気的等方性を示す。さらに、例えば、シード層2にNiFeを用いて、磁性層3に比較的厚膜のCo-Pt、Co-Feを用いた場合には、磁性層3は膜面に垂直な方向に磁気異方性を示す。

【0052】磁性層3の結晶磁気異方性および磁気特性は、シード層2、磁性層3の成膜条件を調整することによっても、調整することが可能である。本発明においては、磁性材料からなる連続膜の有する磁気異方性よりも、磁性材料から規則的磁性粒子5を形成した後の異方性並びに磁気特性が重要である。

【0053】発明者らは、本発明の実施に先立って磁気記録媒体ノイズのシミュレーションを行った。シミュレーションの結果、磁性粒子5が規則的に配列した場合には媒体ノイズに大幅な低減が見られS/Nが向上することが判明した。さらにその低減効果は、粒子間距離のバラツキが40%以下の場合に顕著であり、さらに粒径バラツキがFWHMで20%以下の場合により顕著である事を見出した。

【0054】本発明の規則的磁性粒子媒体においては、1つの磁性粒子5が最小記録単位ではない。すなわち、図1に示す最小記録セル7は、1つの磁性粒子5から構成されておらず、少なくともトラックの長さ方向に4個の複数の磁性粒子5から構成されている。なお、最小記録セルとは、最短セル長に対応する記録セルのことである。

【0055】本発明に従って複数の磁性粒子5で最小記録セル7を構成すれば、ヘッドのトラック幅、ギャップ長、サーボ精度などに合わせた磁気記録媒体の設計が可能となる上、媒体ノイズを十分に低くしS/Nを向上させることができる。最小記録セル7中の磁性粒子5の数は記録密度、記録セルのアスペクト比に依存する。

【0056】本発明は基本的に粒子5の間には非磁性体4が用いられるのでCrなどを偏析させる必要がない。

【0057】(B)規則的非磁性ボア媒体

図2は、本発明に係る規則的非磁性ボア媒体の一例を示す概略図であり、図2(a)は最小記録セルの平面図、図2(b)断面図である。図2に示す規則的非磁性ボア媒体においては、基板1の上にシード層2が形成され、シード層2の上に磁気記録層3が形成されている。磁気記録層3は、連続磁性膜8の中に規則的に配列された複数の非磁性ボア9からなる。磁気記録層3の上に保護層6が形成されている。なお、規則的に配列されているとは、最近接非磁性ボア間の距離の分布の全半値幅が最近接非磁性ボア間の平均距離の±40%以下であることである。

【0058】基板1、シード層2、および保護層6を形

成する材料は、図1に示した規則的磁性粒子媒体の基板1、シード層2、および保護層6を形成する材料と同様の材料を用いることができる。

【0059】また、図2の磁気記録層3の膜厚は、図1の規則的磁性粒子媒体の磁気記録層3の膜厚と同様である。連続磁性膜8を形成する磁性材料は、規則的磁性粒子媒体における磁性粒子材料と同様のものから選択可能であり、多結晶磁性体、非晶質磁性体の中から幅広く選択が可能である。特に好適な材料は、連続磁性体を形成しやすくそれ自身には磁壁のピンニングサイトが少ない、Co-Pt基合金、Co-Tb、Co、Co-Fe、希土類・遷移金属合金(RE-TM)(RE:希土類、TM:遷移金属)などの磁性体である。

【0060】Co-TbはRE-TM系に属する材料で、磁気記録用というよりは光磁気記録用の材料であるが、非晶質の連続磁性膜なので粒界フリーで加工性が良い。また、Co-TbはRE-TM系の中では比較的飽和磁化(Ms)が大きく信号出力が高くとれること、キュリー点が高いので動作温度特性に優れること、耐食性が良好でCSS耐性も持たせやすいことなどの利点を有する。

【0061】非磁性ボア9を形成する非磁性材料は、規則的磁性粒子媒体における非磁性マトリクス4を形成する材料と同様のものから選択可能である。

【0062】非磁性ボア9は、磁壁10によって連結されている。磁壁10は連続磁性膜8の一部である。磁壁10は、例えば相隣る2つの記録セルの有する磁化が互いに反対の方向を有しているときには、両セルの間に位置する磁壁10は2つの方向の中間の方向の磁化を有する。本発明における磁壁10には、磁性膜8の種類によって様々なタイプのものが適用可能であり、特に限定されない。例えば、磁壁10のタイプとしては、ブロッホ磁壁またはネール磁壁などが挙げられる。

【0063】本発明の規則的非磁性ボア媒体では、規則的に配列する非磁性ボア9が磁壁10のピンニングサイトとして作用するため、磁壁10の形状はボア9の規則性に従う。そのため、磁性膜8は連続状だが、媒体とし

ては極めて低ノイズでありS/Nが向上する。ボア9が磁壁10のピンニングサイトとして有効に作用するためには、ボアサイズは磁壁10の幅の0.5以上であることが好ましく、低ノイズ特性を得る上ではボアサイズは磁壁10の幅の3倍以下であることが好ましい。

【0064】通常、規則的非磁性ボア媒体を形成したときには、磁場中成膜などの方法を行わない場合は、形成直後の状態では連続磁性膜8は磁壁10を有する磁化状態を示す。そして、一般的に、成膜直後の連続磁性膜8に現れる磁壁10のパターンはランダムなメイズパターンである。しかし、本発明のように非磁性ボア径が磁壁幅の0.5〜3倍の間にある場合には、磁壁10はメイズ状ではなく、例えば図13に示すような非磁性ボア9を連結する規則的な配列を示す。

【0065】磁壁10が非磁性ボア9を連結するかどうかは、磁壁エネルギーと反磁界エネルギーとの間の比較による。すなわち、磁壁エネルギーが反磁界エネルギーよりも大きい場合には、磁壁10は非磁性ボア9を連結した方がエネルギー的に安定であるため、磁壁10は非磁性ボア9を連結する。しかし、逆の場合には、むしろ磁壁10は非磁性ボア9を連結せずに非磁性ボア9以外の部分にも形成された方がエネルギー的に安定であるため、磁壁10は非磁性ボア9を連結しない。

【0066】本発明者らは、磁壁エネルギーが反磁界エネルギーよりも高くなる様に、磁性材料、非磁性ボア配列を選択することが媒体ノイズを低減しS/Nを向上させる上で好ましい事を見出した。

【0067】すなわち、最小記録セルを構成する非磁性ボアの最近接ボア間の距離の分布のFWHMが、最近接ボア間の平均距離の±40%以下に調整されていることが、磁化転移ノイズを低減する上で好ましい。

【0068】下表1は、本発明の適用を想定している記録密度と本発明を適用した場合に必要な磁性粒子の粒径、磁性粒子間隔、およびボア径、ボア間隔である。

【0069】

【表1】

表1. 規則的磁性粒子媒体、規則的非磁性ポア媒体試算

記録密度 (Ch/in ²)	50		100		200	
アスペクト比	10	1	10	1	10	1
トラック密度 (kTPI)	71	224	100	316	141	447
トラック幅 (nm)	360	113	254	80	180	57
ビット密度 (kBPI)	710	224	1000	316	1410	447
最短セル長* (nm)	47.5	151	33.8	107	24	76
粒径 (上限; nm)	11.9	37.8	8.5	26.8	6	19
粒子間隔 (nm)	13-15	39-47	9-11	28-34	7-7.5	20-24
ポア径 (上限; nm)	11.9	18.4	8.5	12.8	6	8.8
ポア間隔 (nm)	15-72	≤23	11-51	≤16	7.5-36	≤11

*1-7 変調採用時

【0070】上表1は、記録セルのアスペクト比は従来の磁気媒体では20程度であるが、今後アスペクト比は小さくなる方向、つまり狭トラック化の方が狭ビットピッチ化よりも急速に進展する方向と予測されるので、アスペクトが10の場合と1の場合（いわゆるスクエアビットとして提案されている）について示してある。ビット密度と最短セル長の関係は信号処理方法に依存するが、表1では、1/7変調方式を採用した場合の換算値を用いた。

【0071】前述したように、規則的磁性粒子媒体の場合には、最小記録セルは少なくとも4個の磁性粒子からなるため、低ノイズ性能を発現する上で最も好ましい粒径は最小記録セル長の1/4以下である。このため、表1では粒径はセル長の1/4としてある。

【0072】また、磁性粒子の密度は十分に大きな媒体信号出力を得る上で50%以上と設定し、粒子間隔は粒子間の交換相互作用を完全に分断できるように粒子サイズ+1nmとした。また、表1において、最小記録セル中に含まれる磁性粒子数は、トラック幅と最短記録セル長の積を粒子間隔で除した値で表わされる。

【0073】また、規則的非磁性ポア媒体においては、ポア密度は十分に大きな媒体信号出力を得る上で50%以下と設定した。また、ポア間隔はトラック幅以下であれば実質的に使用可能だが、表1ではポアを連結する磁壁（磁化転移）が十分な安定性を有する値として、トラック幅の0.2とした。

【0074】表1から、本発明の規則的磁性粒子媒体、規則的非磁性ポア媒体はともに、超高密度磁気記録媒体の候補として有用なことが明らかである。

【0075】＜本発明に係るマスクの製造方法＞本発明に係る規則的磁性粒子媒体および規則的非磁性ポア媒体は、どちらも規則的に配列する開口を有するマスクを用いて製造することができる。従って、最初に、規則的に配列する開口を有するプロセスマスクの製造方法について説明する。

【0076】磁性層から規則的に配列する複数の磁性粒子を作製する、または非磁性マトリクス層から規則的に配列する複数の非磁性ポアを作製するためのマスクは、例えば自己組織化プロセスを利用して製造することができる。

【0077】自己組織化プロセスとしては、例えば、以下のものが挙げられる。

(a) J. Electrochem. Soc. 100, 411, 1953に開示されている、高純度Alの陽極酸化法。

(b) 酸化物微小球の分散沈殿法。

(c) 酸化物微小球のガス中蒸着法。

(d) 応用物理第52巻第8号、712, 1983に開示されている、ステアリン酸上へのGeもしくはBi蒸着。

(e) グラファイト上へのCuフタロシアニンのヘテロエピタキシャル成長。

(f) Appl. Phys. Lett. 64(2)196, 1994に開示されている、GaAs上へのInAsドット形成。

(g) Appl. Phys. Lett. 64(4)422, 1994に開示されている、複合有機物上へのAuドット形成。

本発明においては、上述の自己組織化プロセスのどの手法も適用することが可能であり、また、自己組織化プロセスを用いない他の方法も適用可能である。

【0078】自己組織化プロセスを用いてマスクを製造する方法の例として、上述の(a)高純度A1の陽極酸化法、および(c)の酸化物微小球のガス中蒸着法を用いてマスクを製造する方法について説明する。

【0079】(A)高純度A1の陽極酸化法によるマスクの製造方法

A1の陽極酸化による自己組織化マスクの製造は、

(1)ポーラスアルマイトを形成する段階、(2)ポーラスアルマイトからマスクを作製する段階からなる。

【0080】以下、各段階について順次説明する。

(1)ポーラスアルマイトを形成する段階

この段階は、次の(a)～(c)の工程を含んでいる。

(a)4Nもしくは5Nグレードの高純度A1板を鏡面研磨する。

(b)鏡面研磨したA1板を過塩素酸化学研磨もしくは水酸化ナトリウム溶液中アルカリ研磨したのち中和する。

(c)中和ののち、A1板を数%～10数%の陽極酸化溶液中に浸漬して、Pt、C等を負極にしてA1板に正の電圧を印加して所定の時間陽極酸化する。

【0081】陽極酸化溶液としては、硫酸、リン酸、硫酸、クロム酸およびこれらの混酸の水溶液を用いる。陽極酸化により、A1板の表面に連続した $A1_2O_3$ バリア層が形成され、さらにバリア層の上にポーラスアルマイト($A1_2O_3$)が形成される。ポーラスアルマイトは、規則的に配列された複数の未貫通の微小孔を有する。このような形状のポーラスアルマイトが形成されることを自己組織化という。

【0082】図3は、陽極酸化により形成されたバリア層、およびポーラスアルマイトを示す概略断面図である。図3に示すように、陽極酸化処理によって、高純度A1板11の上に陽極酸化A1の初期成長バリア層部12が形成され、その上に複数の微小孔13を有する陽極酸化A1のポーラスアルマイト部14が形成される。図3において、Cはポーラスアルマイトの単位セルサイズ(微小孔間隔に相当する)、Pは微小孔サイズ、Wは微小孔の周囲を囲むアルマイト壁の厚さを示す。

【0083】この様な自己組織化ポーラスアルマイト14の形成機構は、陽極酸化溶液にA1と酸化A1($A1_2O_3$)の両方が溶解することに起因する。すなわち、原材料のA1を酸化液に浸漬して電圧を印加すると、A1表面が溶解しながら陽極酸化A1層が形成されるとともに、形成された酸化A1の一部が溶液中へと溶解する。酸化A1が溶解して溶液中へと流れ出た後の酸化A

$$C = 2WE + P$$

ボア径P、酸化A1壁の厚みWは、陽極酸化液の種類、濃度、バス温度に依存する。微小孔13の径は、酸の種

1表面では、電界が集中して電流密度が増加する。電流密度が増加すると、酸化A1の溶解が促進されるために微小孔13が形成される。同時に、微小孔13の周囲には、溶解した余剰のA1もしくは酸化A1が供給されて、酸化A1壁の成長が促される。

【0084】以上のような酸化A1の一部の溶解、すなわち局所的な溶解は、A1自体もしくはA1表面に残存する自然酸化A1の欠陥部において選択的に発生する。上述したように、局部溶解が発生したのち、微小孔13が形成されて酸化A1の壁が成長すると電界は弱まる。電界が弱まると、酸化A1表面上の全電界強度を保持するために、酸化A1壁の隣において電界の強い部分が再び形成されて微小孔13が形成される。

【0085】陽極酸化の初期の段階では、ランダムに分布する欠陥部から微小孔13の形成が開始される。しかし、上述したように、形成された微小孔13の周囲に周期的かつ規則的な電界の空間分布が生ずるために、自己組織的に微小孔13が規則的な配列をなすものと考えられる。

【0086】図3に示すように、A1板11と酸化A1バリア層12との界面においては、単位セルごとに凹面が形成されている。ポーラスアルマイト14が成長した部材を、比較的高濃度の燐酸、またはクロム酸溶液中に浸漬してポーラスアルマイト14を除去すると、規則的に配列した凹面を有するA1板11が得られる。このA1板11に上述の陽極酸化を再び施すと、A1板11上の凹面と凹面との間に位置する突起部が前述した欠陥部の役割を果たして、最初の陽極酸化よりもさらに規則性の良い自己組織パターンを有するポーラスアルマイト14を得ることができる。

【0087】ポーラスアルマイト14の成長速度は陽極酸化条件、主に陽極酸化電圧に依存するが、典型的には数～100nm/分である。また、微小孔13の深さは陽極酸化時間で調整することができる。

【0088】後述する磁気媒体の試作においては、上述のようにして形成した微小孔13のサイズが磁性粒子サイズまたは非磁性ボアサイズに対応し、微小孔13の間隔が磁性粒子間隔または非磁性ボア間隔に対応する。また、微小孔13の深さは磁性膜加工の特性に関連する。微小孔13のサイズと微小孔13間隔は、陽極酸化に使用する酸の種類、陽極酸化電圧、陽極酸化バス温度に依存する。

【0089】前述のようにボア間隔をC、ボア径をP、孔の周りに形成される酸化A1壁の厚みをWとおき、A1に印加する電圧をEと置くと、実験的に以下の関係がある。

$$\dots\dots\dots (1)$$

類、濃度、バス温度によって調整可能であり、微小孔13の間隔は、酸の種類、濃度、バス温度、および印加電

圧によって幅広く調整可能である。微小孔13の配列の規則性、すなわち孔径分布と孔間隔分布は、Alの純度、Al中へのMg等の添加物の量、陽極酸化前の処理方法、陽極酸化速度、陽極酸化の回数に依存する。

【0090】(2) ポーラスアルマイトからマスクを作製する段階

Al上に形成したポーラスアルマイト14からマスクを形成する方法は、例えばJpn. J. Appl. Phys. 35-2(1B) L126, 1996に開示されている。

【0091】この方法においては、次の(a)～(e)の工程が含まれている。

(a) 図3に示すポーラスアルマイト14の微小孔13を含む表面へレジストなどの有機樹脂モールドを形成する。

(b) Al板11をエッチング除去する。

(c) 酸化Alバリア層12を除去する。

(d) 樹脂モールドへ白金などの金属を充填する。

(e) 樹脂モールドを除去する。

以上の一連の工程によって、貫通孔を有する白金などの金属のマスクが作製される。

【0092】また、Jpn. J. Appl. Phys. 31-2(12B) L1775, 1992、および、Science, 268, 1466, 1995には、ポーラスアルマイトにレジストを埋め込みネガパターンを形成した後、酸化物、白金(Pt)などのレプリカを形成して、このレプリカからマスクを形成する方法が開示されている。

【0093】Science, 268, 1466, 1995に開示されている方法においては、レプリカの材料として、酸化物、白金以外にさらにSiC、SiO₂、a-C:HなどのCVD成長材料を用いることができる。そのため、前述のポーラスアルマイト自体をマスク化する場合に比べて、マスクの耐エッチング性、機械強度を向上させることができる。

【0094】なお、このようにレプリカからマスクを作製するときには、ポーラスアルマイトのパターンからそのままマスクを作製しても良いが、機械的保持のためにCuなどの金属からなるメタルリングを用意し、メタルリングの開口部にポーラスアルマイトのハニカムパターンを配置したのちに、ポーラスアルマイトのパターンからマスクを作製しても良い。メタルリングを用いて作製すると、作製されたマスクの機械強度、ハンドリング性を著しく向上させることができる。

【0095】図4は、メタルリングの一例を示す概略平面図および概略断面図である。マスクはメタルリング15の開口部16に形成される。メタルリング15を用いたマスクの作製は、例えばScience, 268, 1466, 95に開示されているレプリカ法を修正した方法によって行うことができる。

【0096】(B) 酸化物微小球のガス中蒸着法を用いてマスクを製造する方法

本方法は、以下の工程を含んでいる。

【0097】(a) 10nmオーダの微小球を形成するTiO₂等の酸化物を、例えば電子ビーム蒸着装置の原料ボートに入れて真空排気後、電子ビームをボートに照射してTiO₂を蒸発させる。

【0098】(b) 蒸発物質を、蒸着室内に設けた隔壁の通過孔からガス圧力の高い別室に導く。この別室においては、蒸発物質の過冷却により、気相中で10nmオーダのTiO₂の微小球が形成される。

【0099】(c) 形成された微小球をプラズマ中に通過させる、または微小球にオゾナイザーを吹きかけるなどして帯電させてから、帯電した微小球をマスク基板に堆積させる。堆積した微小球は、基板上で互いにクーロン力によって反発しながら規則的に配列する。配列の結果、粒径10nmオーダのTiO₂球の規則的な自己組織化パターンが形成される。

【0100】(d) 形成されたパターンからマスクを作製する。マスクの作製は、例えば以下のようにして行う。形成されたパターンに、例えばレジストを埋め込み、規則的に配列した凹部を有するレジストのネガパターンを作製する。ネガパターンを転写プロセスに供することによって、自己組織化パターンと同じパターンを有するマスクを形成することができる。

【0101】次に、本発明に係る磁気記録媒体の製造方法について説明する。まず、上述のようにして作製したマスクを用いて製造する方法について説明する。次に、マスクを用いずに磁気記録媒体を製造する方法について説明する。

【0102】＜マスクを用いて本発明に係る磁気記録媒体を製造する方法＞上述のようにして作製したマスクのうち、特にポーラスアルマイトから作製したマスクを用いて本発明に係る規則的磁性粒子媒体、および規則的非磁性ボア媒体を製造する方法について説明する。

【0103】(A) 規則的磁性粒子媒体の製造方法
まず、通常のパターンを有する規則的磁性粒子媒体の製造方法について説明する。そして、次に、サーボパターンを有する規則的磁性粒子媒体の製造方法について説明する。

【0104】(A-1) 通常のパターンの規則的磁性粒子媒体の製造方法

図1の構成の規則的磁性粒子媒体は、例えば、多室マグネトロンスパッタリング装置などの成膜装置内に装着した基板上に、スパッタリングによって、シード層、磁性層、保護層を順次成膜することによって、作製することができる。

【0105】本方法には、基本的に2通りのプロセス、第1のプロセスおよび第2のプロセスが適用できる。両方のプロセス共に、図1に示した規則的磁性粒子媒体の

作製に用いる事ができる。第1のプロセスは、第2のプロセスに比較してプロセス数が多くPEP工程も必要となるが、自己組織化マスクがプロセス中に何ら変質を受けないために繰り返して何回でも使用できるという利点がある。

【0106】図5に、これらのプロセスフローを示す。

【0107】(1) 第1のプロセス

(a) 基板上に磁性層を形成する。前述したように、シード層、保護層は形成してもしなくても良い。

(b) 磁性層の上にレジストをコートする。

(c) 前述のようにして作製した自己組織化マスクの直下に、基板を配置する。

【0108】(d) マスクの上から光照射、もしくは電子ビーム一括照射を行って、レジストを露光する。露光したのちレジストを現像する。ポジ型レジストを用いれば、現像処理によって露光部のみが磁性層の上にパターンとして残る。このレジストパターンは、前記の自己組織化マスクの開口部のハニカム状パターンと一致する。

【0109】(e) イオンミリング法もしくはRIE法などにより、レジストパターンを磁性層に転写する。イオンミリング法は、磁性層の形成された基板(HDD応用の場合にはディスク基板)よりも大口径のイオン源を用いて一括ミリングするか、小口径のイオン源の下部で基板を回転するなどして行う。レジスト、磁性層、シード層、保護層のミリングレートをあらかじめ調査しておく。調査したレートを参照してミリング時間を設定すれば、レジストがミリングオフされる前に磁性層のみを規則的な柱状磁性粒子にパターンニングできる。シード層は磁性粒子の下部にそのまま残るので良好な磁気特性が保持される。磁性粒子間のシード層は、ミリングされても構わない。

【0110】(f) 磁性層をパターンニングしたのち、必要に応じてレジスト残渣を除去(アッシング、ディッピング等を利用)する。

【0111】以上の(a)～(f)の工程によって、本発明に係る規則的磁性粒子媒体が製造される。

【0112】(g) 媒体の機械強度、耐食性を向上する上で、上述のようにして製造された磁性粒子の間に、さらにマトリクス材料を埋め込む。

【0113】埋め込みは、CVD、スパッタ、蒸着等の成膜方法によって行うことができる。磁性粒子間へのマトリクス材料の埋め込み性の点からは、コリメーションスパッタ等の異方性成膜法が好ましいが、埋め込み深さ(磁性粒子の厚みと同等程度の深さ)が10nm程度と非常に小さいので、どのような手法を用いても比較的良好的な埋め込みを行うことができる。

【0114】(h) マトリクスの埋め込み後は媒体の表面は凹凸面をなしているため、必要に応じて、媒体表面に表面平坦プロセスを施す。表面平坦プロセスの方法としては、例えば、ワッフルバニッシュ、テープバニッ

シュ、CMP、イオンポリッシング、またはこれらの組合せなどが挙げられる。

【0115】例えば、マトリクスとしてCVD-C、表面平坦化にテープバニッシュとイオンポリッシングを組合せたときには、表面粗さとして $Ra < 1\text{ nm}$ を実現することが可能である。

【0116】(i) 平坦化プロセス後、マトリクス材料が磁性粒子の上部を覆っている状態であれば、そのまま規則的磁性粒子媒体として使用可能である。マトリクス材料が磁性粒子の上部を覆わず磁性粒子の上部が露出しているときには、平坦化プロセスの後に媒体の表面に保護膜をコートするのが好ましい。

【0117】(j) 図5には図示していないが、最後に、通常の磁気媒体と同様に、潤滑層を媒体の表面にコートする。潤滑層は保護膜の代わりに用いることができるので、上述のように磁性粒子が露出しているときに、潤滑層を媒体の表面にコートしても良い。

【0118】(2) 第2のプロセス

(a) 基板上にマトリクスとなる材料を連続膜として形成する。前述したように、シード層、保護層は形成してもしなくても良い。

(b) 基板を、自己組織化マスクの直下に配置する。

(c) イオンミリング法もしくはRIE法などにより、自己組織化マスクに対応して、マトリクス材料をパターンニングする。パターンニングにより、マトリクス材料に規則的に配列された複数の孔が形成される。

【0119】(d) マトリクス材料に形成された孔に磁性粒子材料を埋め込む。埋め込みはコリメーションスパッタ等の異方性成膜法を適用するのが、孔側壁近傍の磁気特性を良好に維持する上で好ましいが、埋め込み厚さは厚くても50nm程度なので、通常の等方性成膜を用いても磁気特性の劣化は微々たるものであり実用上は問題がない。

【0120】(e) 磁性粒子埋め込み後は、バニッシュ、CMP、イオンポリッシングなどの第1のプロセスと同様の方法で表面の平坦化を行う。

【0121】第1のプロセスでは下側に磁性体、上側に通常は磁性体よりも硬質のマトリクス材料が配されるので平坦化プロセスのエンドポイントの管理は厳密に行う必要があるが、このプロセス(B)では下側に硬質のマトリクス材料、上側に磁性材料が配されるので、いずれの平坦化プロセスにおいてもエンドポイントの管理は比較的平易である。平坦化後のプロセスは第1のプロセスに準じて実施可能である。

【0122】上述した第1のプロセス、第2のプロセスの両方において、媒体の磁気特性の調整は、磁性体形成温度の調整、磁性粒子形成後のアニールの実施などによっても行うことが可能である。

【0123】そして、上述の第1のプロセス、第2のプロセスの両方において、本発明に係る、連続非磁性膜中

に規則的に配列する複数の磁性粒子を備え、最小磁気記録セル内に含まれる磁性粒子について、トラックの長さ方向に配列する粒子数が少なくとも4個であり、最近接粒子間の距離の分布の全半値幅が最近接粒子間の平均距離の $\pm 40\%$ 以下であり、粒径分布の全半値幅が平均粒径の $\pm 20\%$ 以下である磁気記録媒体を製造することが可能である。

【0124】(A-2) サーボパターンを有する規則的磁性粒子媒体の製造方法

次に、サーボパターンを有する規則的磁性粒子媒体の製造方法について述べる。図6は磁気ディスクのサーボパターンの一例を示す概略図であり、図6(a)は配置例、図6(b)はサーボパターンの形態である。本発明をサーボパターンを有する磁性媒体に適用する場合、以下の3つの態様が考えられる。すなわち、(i)サーボパターンを形成したのちに磁性粒子部を形成する態様、(ii)サーボパターンと磁性粒子部とを同時に形成する態様、(iii)磁性粒子部を形成したのちにサーボパターンを形成する態様、である。

【0125】以下、各態様について、説明する。

(i)サーボパターンを形成したのちに磁性粒子部を形成する態様は、例えば日本応用磁気学会第103回研究会資料p. 75に開示されているように、以下の一連の工程を適用することが可能である。

【0126】(a)基板上にレジストでサーボパターンを形成する

(b)レジストをマスクとして基板表面にパターンを転写する

(c)基板にサーボ用の磁性膜を埋め込む

(d)レジストをリフトオフする

(e)表面を平坦化する

埋め込みサーボを形成した後は、前述のようにして規則的磁性粒子媒体を形成すれば良い。

【0127】(ii)サーボパターンと規則的磁性粒子部とを同時に形成する態様は、あらかじめ自己組織化マスクの一部にサーボパターンを設けることによって、行うことができる。

【0128】具体的には、例えばボラスアルマイトからマスクを形成する転写プロセスにおいて、レジストのネガの一部をサーボパターンに従って露光・現像すれば良い。

【0129】(iii)規則的磁性粒子部を作製したのちにサーボパターンを形成する態様においては、規則的に配列する磁性粒子上にレジストをパターンニングし、複数の磁性粒子を含むデータ部はそのまま保存して、サーボ部のみを必要に応じてエッチングし、サーボ用磁性膜を埋め込む等すれば良い。

【0130】(B)規則的非磁性ボア媒体の製造方法
まず、通常のパターンを有する規則的非磁性ボア媒体の製造方法について説明する。そして、次に、サーボパ

ターンを有する規則的非磁性ボア媒体の製造方法について説明する。

【0131】(B-1) 通常のパターンの規則的非磁性ボア媒体の製造方法

図2に示した規則的非磁性ボア媒体は、例えば、図5に示した規則的磁性粒子媒体の製造方法に準じて行うことができる。すなわち、図5の規則的磁性粒子媒体のプロセスフローにおいて、磁性層とマトリクス層、磁性粒子とマトリクスを逆にすれば良い。本方法においても、図5に図示したような第1のプロセスおよび第2のプロセスが適用できる。

【0132】(1) 第1のプロセス

(a)基板上に非磁性マトリクス層を形成する。シード層、保護層は形成してもしなくても良い。

(b)非磁性マトリクス層の上にレジストをコートする。

(c)前述のようにして作製した自己組織化マスクの直下に、基板を配置する。

【0133】(d)マスクの上から光照射、もしくは電子ビーム一括照射を行って、レジストを露光する。露光したのちレジストを現像する。ポジ型レジストを用いれば、現像処理によって露光部のみが磁性層の上にパターンとして残る。このレジストのパターンは、前記の自己組織化マスクの開口部のハニカム状パターンと一致する。

【0134】(e)イオンミリング法もしくはRIE法などにより、レジストパターンを非磁性マトリクスに転写する。イオンミリング法は、マトリクス層の形成された基板(HDD応用の場合にはディスク基板)よりも大口径のイオン源を用いて一括ミリングするか、小口径のイオン源の下部で基板を回転するなどして行う。レジスト、非磁性層、シード層、保護層のミリングレートをあらかじめ調査しておく。調査したレートを参照してミリング時間を設定すれば、レジストがミリングオフされる前にマトリクス層のみを規則的な柱状非磁性粒子にパターンニングできる。シード層は非磁性粒子の下部にそのまま残る。非磁性粒子間のシード層は、ミリングされても構わない。

【0135】(f)このようにして非磁性層をパターンニングしたのち、必要に応じてレジスト酸渣を除去(アシング、ディッピング等を利用)する。

【0136】(g)非磁性粒子の間に、磁性材料を埋め込む。埋め込みは、CVD、スパッタ、蒸着等の成膜方法によって行うことができる。非磁性粒子間への磁性材料の埋め込み性の点からは、コーメーションスパッタ等の異方性成膜法が好ましいが、埋め込み深さ(非磁性粒子の厚みと同等程度の深さ)が10nm程度と非常に小さいので、どのような手法を用いても比較的良好な埋め込みを行うことができる。

【0137】(h)磁性材料の埋め込み後は媒体の表面

は凹凸面をなしているのので、必要に応じて、媒体表面に表面平坦プロセスを施す。表面平坦プロセスの方法としては、例えば、ワッフルバニッシュ、テープバニッシュ、CMP、イオンポリッシング、またはこれらの組合せなどが挙げられる。

【0138】(i) 平坦化プロセス後、媒体の表面に保護膜をコートする。

(j) 図5には図示していないが、最後に、通常の磁気媒体と同様に、ルブのような潤滑層を媒体の表面にコートする。潤滑層を保護膜の代わりに媒体の表面にコートしても良い。

【0139】(2) 第2のプロセス

(a) 基板上に磁性層となる材料を連続膜として形成する。前述したように、シード層、保護層は形成してもしなくても良い。

(b) 基板を、自己組織化マスクの直下に配置する。

(c) イオンミリング法もしくはRIE法などにより、自己組織化マスクに対応して、磁性材料をパターニングする。パターニングにより、磁性材料に規則的に配列された複数の孔が形成される。

【0140】(d) 磁性材料に形成された孔に非磁性粒子材料を埋め込む。埋め込みはコリメーションスパッタ等の異方性成膜法を適用するのが好ましいが、埋め込み厚さは厚くても50nm程度なので、通常の等方性成膜を用いても実用上は問題がない。

【0141】(e) 非磁性粒子の埋め込み後は、バニッシュ、CMP、イオンポリッシングなどの第1のプロセスと同様の方法で表面の平坦化を行う。

【0142】第2のプロセスでは下側に軟質の磁性材料、上側に通常は磁性材料よりも硬質な非磁性マトリクス材料が配されるので、平坦化エンドポイントの管理は厳密に行う必要があるが、第1のプロセスでは下側に非磁性マトリクス材料、上側に磁性材料が配されるので、いずれの平坦化プロセスにおいてもエンドポイントの管理は比較的平易である。平坦化後のプロセスは第1のプロセスに準じて実施可能である。

【0143】上述した第1のプロセス、第2のプロセスの両方において、本発明に係る、続磁性膜中に規則的に配列する複数の非磁性ボアを備え、磁性膜中の磁化転移部が非磁性ボアを連結する磁壁からなり、非磁性ボアの平均粒径が磁壁の平均幅の0.5ないし3倍である磁気記録媒体、およびこれらの特性に加えて最小磁気記録セル内の最近接ボア間の距離の分布の全半値幅が、最近接ボア間の平均距離の±40%以下である磁気記録媒体を製造することが可能である。

【0144】また、上述した第1のプロセス、第2のプロセスの両方において、媒体の磁気特性の調整は、磁性体形成温度の調整、磁性粒子形成後のアニールの実施などによっても行うことが可能である。

【0145】(B-2) サーボパターンを有する規則的

非磁性ボア媒体の作製

次に、サーボパターンを有する規則的非磁性ボア媒体の製造方法について述べる。サーボパターンとしては、規則的磁性粒子媒体と同様に、例えば図6のパターンを用いる事ができる。

【0146】本発明をサーボパターンを有する媒体に適用する場合に、以下の3つの態様が考えられる。すなわち、(i) サーボパターンを形成したのちに非磁性ボア部を形成する態様、(ii) サーボパターンと非磁性ボア部とを同時に形成する態様、(iii) 非磁性ボア部を形成したのちにサーボパターンを形成する態様、である。

【0147】以下、各態様について、説明する。

(i) サーボパターンを形成したのちに非磁性ボア部を形成する態様は、例えば日本応用磁気学会第103回研究会資料p. 75に開示されているように、以下の一連の工程を適用することが可能である。

【0148】(a) 基板上にレジストでサーボパターンを形成する

(b) レジストをマスクとして基板表面にパターンを転写する

(c) 基板にサーボ用の磁性膜を埋め込む

(d) レジストをリフトオフする

(e) 表面を平坦化する

埋め込みサーボを形成した後は、前述のようにして規則的非磁性ボア媒体を形成すれば良い。

【0149】(ii) サーボパターンと非磁性ボア部とを同時に形成する態様は、あらかじめ自己組織化マスクの一部にサーボパターンを設けることによって、行うことができる。

【0150】具体的には、例えばボラスアルマイトからマスクを形成する転写プロセスにおいて、レジストのネガの一部をサーボパターンに従って露光・現像すれば良い。

【0151】(iii) 非磁性ボア部を形成したのちにサーボパターンを形成する態様においては、規則的に配列するボア上にレジストをパターニングし、複数の非磁性ボアを含むデータ部はそのまま保持して、サーボ部のみを必要に応じてエッチングし、サーボ用磁性膜を埋め込む等すれば良い。

【0152】＜マスクを用いないで本発明に係る磁気記録媒体を製造する方法＞次に、上述した自己組織化マスクのようなマスクを用いないで本発明に係る磁気記録媒体を製造する方法について説明する。一例として、マスクを用いないで本発明に係る規則的磁性粒子媒体を製造する方法について説明する。

【0153】図7は、マスクを用いないで規則的磁性粒子媒体を製造するための装置の一例を示す概略図である。

【0154】図7に示す装置は、ガス導入系を排気系を

連通する真空容器 20 を備えている。

【0155】真空容器 20 の床部には、誘導加熱型蒸発源 21 が配置されている。蒸発源 21 は、ヒーター 22 が周囲に巻かれたルツボ 23、ルツボ 23 の上部に配置されたシャッター 24 からなる。ヒーター 22 は、容器 20 の外部に配置された RF 電源 25 と接続されている。ルツボ 23 の中に、蒸発させるための蒸発試料 26 が充填される。

【0156】真空容器 20 の天井部には、超伝導体部 27 が配置されている。超伝導体部 27 は、天井から吊下げられたコールドヘッド 28、コールドヘッド 28 の下面に取付けられた超伝導体 29、超伝導体 29 の下面に取付けられた磁気ディスク基板 30、これらの部材の側方部に配置された磁界印加用コイル 31 からなる。コイル 31 も天井から吊下げられている。

【0157】図 7 の装置を用いて、以下の手順により、規則的磁性粒子媒体を製造することができる。

(a) 真空容器 20 内容を 10^{-4} Pa 以下に排気したのち、コールドヘッド 28 を動作して超伝導体 29 を超伝導状態が発現する温度まで冷却する。

(b) 磁界印加用コイル 31 を通電して、超伝導体 29 に垂直な方向の磁界を印加する。

【0158】超伝導状態にある超伝導体 29 に磁界が印加されると、超伝導体 29 内部に規則的に配列する三角格子状の渦電流が流れる。それぞれの渦電流の中心部から超伝導体 29 の表面と垂直な磁界 32 が発生し、渦電流中心部以外では磁界 32 は発生しない。すなわち、超伝導体 29 表面には、三角格子状に規則的に配列する表面に垂直な磁束を有する磁界 32 のパターンが形成される。

【0159】磁界 32 のパターンの間隔は、超伝導体 29 の種類との印加する磁界強度に依存する。例えば超伝導体 29 に酸化物高温超伝導体である YBCO を用いて、印加磁界を 1 T とした場合には、磁界 32 のパターンの間隔は 50 nm 弱となり、本発明の実施の好適な値を示す。磁界 32 のパターンの間隔は印加磁界強度の平方根に逆比例するので、磁界強度を高めればパターン間隔は狭くする事ができる。例えば、超伝導体 29 として YBCO を用いたときには、磁界 32 のパターン間隔は 25~50 nm である。

【0160】(c) 超伝導体 29 表面に自己組織的に形成された磁界 32 のパターン上に磁性体微粒子 (図示せず) を蒸着する。磁性体微粒子の蒸着には、ガス中蒸着法などを適用する事ができる。例えば、CoPt などの磁性体を原料として蒸発試料 26 に混合しておき、誘導加熱により磁性体を蒸発させる。具体的にはシャッター 24 を閉じた状態で RF 電源 25 を動作して誘導加熱コイル 22 を通電すると、磁性体の加熱と蒸発が起こる。

【0161】(d) 真空容器 20 中に不活性ガスを数 10^{-6} ~数 10^{-4} Pa 程度導入する。導入により、蒸発した

磁性体が気相中で過冷却状態になり、例えば直径サブ nm~10 数 nm 程度の磁性クラスターが形成される。

【0162】(e) 磁性クラスターが形成された状態でシャッター 24 を開き、クラスターを規則的磁界パターンを形成している基板 30 上に導く。

【0163】磁性クラスターはほとんど運動エネルギーを持たないので、基板 30 付近まではランダムに基板 30 に向かって飛来するが、基板 30 の近傍では規則的に配列する磁界 32 のパターンに従って基板上に規則的に配列する。こうして、基板 30 上に規則的磁性粒子を作製することができる。

(f) 規則的磁性粒子を得たのちの媒体の形成プロセスは、前述の規則的磁性粒子媒体の形成プロセスと同様にして実施可能である。また、この様な手法で得られた規則的磁性粒子媒体の特性も、前述の自己組成化マスクを用いて形成した規則的磁性粒子媒体の特性と同様である。

【0164】以上、詳述したように、本発明を用いれば、特にヘッド、サーボ、信号処理装置などの磁気記録媒体以外の要素技術に特に負担をかけることなく、大幅な記録密度の向上が図れる。

【0165】なお、本発明に係る媒体は、高記録密度化への他の手法と組合せることが容易なので、組合わせの例をいくつか例示しておく。

【0166】<本発明と他の技術との組み合わせの例示>本発明に係る媒体と垂直記録方式との組合せは、すでに本明細書中に記載済みである。本発明の媒体を垂直記録に適した単磁極ヘッドと組合せて実施すれば、さらに高記録密度化できる可能性がある。

【0167】本発明に係る媒体と熱アシスト記録方式との組合せも容易である。熱アシスト記録方式は、室温において磁気異方性が非常に大きい媒体を採用して熱擾乱耐性を向上させ、さらなる微粒子化を可能にするものである。しかし、磁気異方性の高い記録媒体を使用すると磁気記録を行うためには大きな磁界を必要とするので、ヘッドにかかる負担が大きくなりすぎて実用的ではない。そこで熱アシスト記録方式では、記録する部分のみをレーザビーム等を用いて加熱し、記録する瞬間のみ異方性すなわち記録磁界を低下させる。この様な手法を適用すれば多粒子ランダム媒体でも粒径をさらに微細化できるので高密度化可能となる。本発明の規則的磁性粒子媒体においても、高磁気異方性の磁性粒子材料を採用すること、および磁気記録時に光熱アシストを行うことが可能である。従って、本発明に係る媒体と熱アシスト記録方式とを組合せることによって、やはり格段の高記録密度化が期待できる。

【0168】上記の他に、IEEE-Trans. Magn. 34 (4) 1552 および 1555, 1998 に開示されているキーパー層を用いた媒体、軟磁性下引きの代りに半硬磁性下引きを用いてバーストノイズを低減

しようとする垂直媒体との組合せ等、本発明の主旨を逸脱しない範囲で他の技術との組合せが可能である。

【0169】

【実施例】＜ポーラスアルマイトの形成＞

(実施例1) 前述した高純度A1の陽極酸化によるマスクの製造方法に従って、ポーラスアルマイトを作製し

た。下表2に陽極酸化条件と、作製したポーラスアルマイトのボア径P、酸化A1壁の厚みWの測定結果を示す。

【0170】

【表2】

表2. 孔径Pと壁厚さW

試料No	陽極酸化条件		P (nm)	W (nm/V)
a 1.	4%硝酸	25℃	30	1
a 2.	2%硝酸	25℃	15	1
a 3.	4%硝酸	50℃	40	0.5
a 4.	2%硝酸	25℃	15	1
a 5.	3%硝酸	25℃	20	0.7
a 6.	3%硝酸	50℃	30	0.5
a 7.	3%クロム酸	40℃	25	1
a 8.	3%クロム酸	10℃	15	1.5
a 9.	15%硫酸	10℃	12	0.8
a 10.	10%硫酸	10℃	8	10

【0171】P、Wは、図3に示すポーラスアルマイトの表面をSEM観察して画像処理を行ったのち、処理した画像から各ボアについて測定したP、Wの値を平均したものである。なお、陽極酸化速度は、印加電圧を調整して 10 ± 1 nm/分に調整した。

【0172】上表2から、数～数10 nmの径の孔と、単位印加電圧当りサブnm～1 nmの厚さの壁が形成で

きていることが判る。

【0173】次に、A1の純度、陽極酸化前の処理方法、陽極酸化の回数を変えて、微小孔の孔径分布と孔間隔分布を変える実験を行った。下表3に実験結果を示す。

【0174】

【表3】

表3. 孔径分布のFWHM ($P\sigma$)、孔間隔分布のFWHM ($C\sigma$)

No.	A1純度	前処理	回数	$P\sigma$ (%)	$C\sigma$ (%)
b 1.	4 N	5%NaOH, 80℃-10 s → 5% HNO_3 中和	1	30	40
b 2.	5 N	同上	1	20	30
b 3.	5 N	同上	2	10	20
b 4.	5 N	5%NaOH, 80℃-30 s → 5% HNO_3 中和	1	10	25
b 5.	5 N	過塩素酸溶液室温 30s	1	20	40
b 6.	4 N	同上	1	35	50
b 7.	4 N	無し	1	45	85
b 8.	5 N	SiCスタンパ押当て →b1 と同一処理	1	8	15

【0175】孔径分布のFWHM ($P\sigma$) および孔間隔分布のFWHM ($C\sigma$) は、作製したポーラスアルマイトをSEM観察した像を画像処理することによって導出した。なお、 $P\sigma$ 、 $C\sigma$ は表2に示した平均孔径、平均孔間隔に対する分散量であり、例えば $P\sigma: 20\%$ は $\pm 10\%$ に相当する。陽極酸化前の処理条件は、バフ研磨した高純度A1の化学研磨条件を変えることによって変えた。陽極酸化速度は、印加電圧を調整して 10 ± 1 nm/分に調整した。

【0176】上表中、最も孔径、孔間隔の分散の少ないb8の試料は、孔のイグナイターとしての欠陥部をあらかじめ規則的に配列したものである。

【0177】欠陥の配列は以下のようにして行った。まず、平坦・平滑な表面を有するSiC基板をEB描画装

置に設置した。そして、SiC基板表面に電子ビームをラスタースキャンさせて、SiC表面に格子状に配列した高さサブnmの複数の突起を形成した。次に、突起が形成されたSiC基板をEB描画装置から取り出し、このSiC基板を高純度A1板に押し当ててA1表面に格子状に配列した複数の凹部を形成した。次に、凹部が形成されたA1板を、表3に示した条件の陽極酸化処理に供した。

【0178】b8の試料においては、陽極酸化処理の前にEB描画パターンに従って形成したSiC基板上の凹部が、A1板の孔のイグナイターとして作用している。そのため、孔の配列はEB描画パターン従っており、孔径、孔間隔共、分散は極めて少ない。

【0179】表2、3の条件の組合せと陽極酸化電圧制

御により、平均孔径：8～40 nm、孔径分布のFWHM：8～120%（120%は±60%を意味する）、平均孔間隔：12～60 nm、孔間隔分布FWHM：15～200%の範囲でポーラスアルマイトを作製した。

【0180】なお、陽極酸化速度を数～30 nm/分程度までの範囲で変化させても、 $P\sigma$ 、 $C\sigma$ はほぼ表2に示した値を示した。陽極酸化速度が30 nm/分以上では、表2中のb8の試料以外の試料については、酸化速度を10 nm/分だけ増加させると $P\sigma$ 、 $C\sigma$ はほぼ5%の割合で増加した。b8の試料については、成長速度を30 nm/分以上に増加させても $P\sigma$ 、 $C\sigma$ の増加は特に見られなかった。

【0181】＜メタルリングを用いたマスクの形成＞（実施例2）前述したScience, 268, 1466, 1995に開示されているレプリカ法を修正した方法を用いて、メタルリングを用いてマスクを形成した。

【0182】まず、Cuリングを用意した。次に、ポーラスアルマイトのパターンが写し取られたレジストをCuリングの開口部に配置した。次に、Cuリング上には連続的にPtを成長させ、リングの開口部にはレジストパターン通りにPtを成長させた。こうして、ポーラスアルマイトのハニカム状のパターンを有するPtからなるレプリカを形成した。形成したレプリカからマスクを形成した。

【0183】以上の様にして形成したマスクの開口形状は、ポーラスアルマイトの有するパターンと1 nm以内の誤差で一致した。

【0184】図8に試作したマスクを上部から見込んだSEM像を示す。図8において、黒い円が貫通孔部、白がPt壁部に相当する。図8に示したマスクは、平均孔径が20 nm、平均孔間隔が30 nm、孔径分布FWHMが30%、孔間隔分布FWHMが40%に、それぞれ調整されている。

【0185】孔の深さは転写前のポーラスアルマイトの厚み以外にレプリカ形成時のPt成長時間で調整可能であり、本例では磁気媒体プロセスへの適用性を考慮して500 nmとした。メタルリングの開口部の面積にもよるが、メタルリングの内径が数cmあれば、メタルリングによる機械的保持の効果のために、Ptの厚さが500 nm程度に薄くても、レプリカの取り扱いに注意すれば破壊を防止できる。

【0186】＜規則的磁性粒子媒体の作製＞

（実施例3）前述した規則的磁性粒子媒体の製造方法に従って、実施例2で作製したマスクを用いて本発明に係る規則的磁性粒子媒体を作製した。

【0187】磁性粒子上の保護膜厚は、従来媒体との比較のために、従来媒体に用いた膜厚と同じ10 nmとした。保護膜材料は第1のプロセスではマトリクス材料もしくはC膜、第2のプロセスではC膜とした。また、全ての試料の最表面にはフルオロカーボン系の潤滑層を2

～3 nm程度塗布した。

【0188】図9は実際に試作した規則的磁性粒子媒体を上部からSEM観察した像である。図9において、白い部分が非磁性マトリクス4に、黒い円が磁性粒子5に相当する。

【0189】実施例2で作製した各種の自己組織化マスクを使用して、平均粒径：7～42 nm、粒径分布FWHM：8～150%（150%は±75%を意味する）、平均粒間隔：12～60 nm、粒間隔分布FWHM：15～250%の範囲で規則的磁性粒子媒体を作製した。

【0190】＜規則的磁性粒子媒体の評価＞実施例3で作製した規則的磁性粒子媒体を、以下のようにして評価した。VSMを用いて、容易軸の向き、容易軸方向の残留磁化(M_r)と磁性粒子厚さ(t)の積、保磁力(H_c)、保磁力角形比(S^*)を求めた。揺らぎ場測定により活性化磁気モーメントを求めた。磁性粒子体積比および飽和磁化の測定値から、磁性粒子の活性化サイズ(D_a)を求めた。 D_a は磁性粒子の最小反転サイズに反応し、粒子間の交換相互作用がない場合には物理的な粒子1つのサイズと一致する。

【0191】また、TEMおよびSEM観察と観察像の画像処理から、磁性粒子の平均粒径(D)、磁性粒子間の平均距離(C)、粒径の分布のFWHM($D\sigma$)、磁性粒子間距離の分布のFWHM($C\sigma$)を求めた。

【0192】磁性粒子の平均粒径(D)は自己組織化マスクの平均孔径 P に対応するが、マスクからの転写プロセスにより D と P は若干異なる値を示した。粒径分布のFWHM($D\sigma$)は自己組織化マスクの孔径分散 $P\sigma$ に対応するが、 $D\sigma$ は転写プロセスでの分散が $P\sigma$ に重畳されて若干大きな値を示した。磁性粒子間の平均距離(C)は観察の結果、自己組織化マスクの孔間平均距離(C)と有意差が無かったので同じ符号 C で示す。粒子間距離の分布($C'\sigma$)と自己組織化マスクの孔間隔の分散($C\sigma$)は、粒径分散 $D\sigma$ と孔径分散 $P\sigma$ の違いを反映して完全には一致せず若干の差異を示した。

【0193】以上の平均値と分布を調べた媒体上の対象領域は2 μ m角であり、これは本発明を適用する最小記録セルサイズよりも十分に大きい範囲である。従って、対象領域の2 μ m角内での分布が例えば20%以下であれば、当然のことながら最小記録セル中の分布も20%以下である。

【0194】また、最終的な評価として、ディスク状に形成した媒体試料をスピンドル上に装着したのち、MRヘッドを用いて、媒体ノイズ特性を中心とした録音再生特性を調べた。以下に評価結果を順次述べていく事にする。

【0195】（実施例4）図10は、磁性粒子間の平均距離(C)と、残留磁化と膜厚の積($M_r t$)との間の関係を測定した結果を示す図である。

【0196】面内に磁化容易軸を有する試料（長手記録媒体）は、面内方向のメジャー・ループ測定で Mrt を求めた。また、垂直方向に磁化容易軸を有する試料は、垂直方向のメジャー・ループ測定で Mrt を求めた。また、図10は、複数の試料の中から、平均粒径 D が $9 \sim 11$ nm、粒径分散 $D\sigma$ が 30% ($\pm 15\%$) 以下、粒間分散 $C\sigma$ が 60% ($\pm 30\%$) 以下の規則的磁性粒子媒体を選んで調べた結果である。また、測定は、磁性粒子の厚みが 10 nm の媒体について行った。

【0197】図10において、Aは磁性粒子材料が $Co-Fe$ の本発明の媒体についての測定結果、Bは磁性粒子が $Co-Pt$ の本発明の媒体の測定結果、Cは比較のための従来媒体の測定結果である。従来媒体Cは、基板上に $Cr(100\text{ nm})/CoCrTaPt(10\text{ nm})/C(10\text{ nm})$ /潤滑剤 (3 nm) を形成した多粒子系のランダム配列の構造をなしている。従来媒体は、磁性層をスパッタリング成膜する時の温度を変えて磁性粒子径を異ならせた2つの試料を用意した。

【0198】膜厚と粒径が一定の場合、磁性体が特に劣化していない場合には、 Mrt は C^{-2} に比例する。図10のA、Bの測定結果においては、この理論通りに Mrt が C^{-2} に比例している。しかし、従来媒体の測定結果においては、理論通りになっていない。

【0199】また、同じCに対する Mrt の値は磁性粒子に占める磁性元素の量で決まる。本発明の $Co-Pt$ の媒体と従来の $CoCrTaPt$ の媒体とでは、磁性元素濃度がほぼ同じであるにも拘わらず、従来媒体の Mrt の方が本発明の媒体のそれよりも低い。この結果は、従来媒体では粒径分布の幅が広いために熱擾乱によって超常磁性化している粒子が存在し Mrt を低めているが、本発明の規則的磁性粒子媒体では粒径分散が小さいために超常磁性化している粒子が殆どないことを示している。

【0200】 Mrt は、磁気記録特性上は信号出力と磁化転移幅に関係する量であり、 Mrt が大きいほど信号出力は大きい。保磁力が同じ場合には Mrt が大きいほど磁化転移幅が広くなり高密度記録が難しくなる。従って、 Mrt は、媒体の他の磁気特性、ノイズ特性、ヘッドなどの記録再生系の特性に合わせて適切に調整すべき量である。本実施例によって示されるように、本発明の媒体においては、磁性粒子間の平均距離 C の調整によって Mrt を適切に調整できることが分かる。

【0201】（実施例5）図11は、磁性粒子の平均粒径 D と保磁力 Hc との間の関係を測定した結果を示す図である。 Hc は各試料の磁化容易軸方向での測定値である。図11のBは、 $Co-Pt$ 磁性粒子を用いた本発明の媒体の測定結果、Cは実施例4で用いた従来媒体についての測定結果である。Bの測定結果は、粒径分散 $D\sigma$ が 30% ($\pm 15\%$) 以下、粒子間距離の平均値が平均粒径 $D + (1 \sim 2\text{ nm})$ 、粒子間距離の分散が 60%

($\pm 30\%$) 以下である本発明の規則的磁性粒子媒体についての測定結果である。

【0202】保磁力 Hc の測定は、室温で10数分の時間をかけたVSMメジャー・ループの測定により行った。磁性粒子の粒径が小さいほど、室温熱擾乱の影響で Hc は低くなる。熱擾乱の影響は粒子の磁気異方性と粒子体積から見積もることができる。

【0203】図11中の実線は、本発明の媒体の $Co-Pt$ 磁性粒子の理論的な Hc の曲線であり、磁性粒子の粒径が十分に大きいとしたときの Hc でフィッティングしたものである。また、図11中の破線は、従来媒体の $CoCrTaPt$ 磁性粒子の理論的な Hc の曲線である。測定結果の曲線と理論的な曲線とを比較すると、粒径分散の少ない本発明の媒体では両曲線が一致しているが、分散の大きい従来媒体では測定結果が理論曲線を下回っている。このように下回るのは、実施例3での Mrt の測定結果について説明した内容と同様に、従来媒体は超常磁性的な粒子を含んでいるためと考えられる。

【0204】 Hc は、磁気記録特性上は磁化転移幅と記録感度に関係する量である。 Mrt が同じ場合には、 Hc が大きいほど磁化転移幅は狭くなり高密度記録に適する。しかし、保磁力角形比 S^* が同じ場合には、 Hc が増加すると記録感度は低下する。従って、 Hc も記録再生系に合わせて適切に調整すべき量である。本実施例によって示されるように、本発明の媒体においては、磁性粒子の平均粒径の調整によって Hc を適切に調整できることが分かる。

【0205】（実施例6）図12は、粒子間距離の分散 $C\sigma'$ (FWHMの $1/2$ で記載してある) と、磁性粒子の活性化サイズ Da と磁性粒子の平均粒径 D との比である Da/D との間の関係を測定した結果を示す図である。

【0206】図12において、Aは磁性粒子材料が $Co-Fe$ の本発明の媒体についての測定結果、Bは磁性粒子が $Co-Pt$ である本発明の媒体の測定結果、Cは実施例4で用いた従来媒体についての測定結果である。本発明の媒体についての測定は、粒径分散 $D\sigma$ がFWHMで 30% 以内に調整されている媒体試料について行った。

【0207】本発明の媒体についての測定結果より、粒子間距離の分散が $\pm 40\%$ (FWHM: 80%) 以下に調整されている媒体においては、 Da/D が1となることが分かる。 Da は最小磁化反転単位であり、磁性粒子間の交換相互作用が分離されている場合には物理的な粒子 D と一致する。また、分散が 80% 以上の領域において分散とともに Da/D が増加しているのは、以下のように解釈できる。すなわち、自己組織化マスクの完成度が低いか規則的磁気媒体の作製プロセスに不備があるために粒子間距離の分散 $C'\sigma$ が大きいときには、粒子と粒子とが局所的に接触して大きな粒子となり Da/D が

大きくなっていると考えられる。

【0208】従来媒体においては、粒子間距離の分散が $\pm 50\%$ (FWHM: 100%) 以上の値を示し、また粒子と粒子が局所的に接触していることを反映して D_a/D が1よりも大きい値を示すとともに、同じ粒子間距離の分散量において本発明の媒体と比べて D_a/D が大きい。これは、従来媒体においては粒子間距離の分散 $C'\sigma$ だけではなく粒径分散 $D\sigma$ も大きいために、粒子と粒子との間の局所的な接触が本発明の媒体よりも多いためであると考えられる。

【0209】 D_a/D は、磁気記録特性的には磁性粒子間の交換相互作用に起因するノイズに関連する量であり、2以下とするのが良い。本実施例より、本発明の規則的磁性粒子媒体においても、 D_a/D を2以下とするために粒子間距離の分散を $\pm 65\%$ (FWHM: 130%) 以下に抑えるのが好ましく、最も好ましくは D_a/D がほぼ1を示す様に分散 $\pm 40\%$ (FWHM: 80%) 以下とするのが良いことが分かる。

【0210】(実施例7) 図13は、粒径分散 $D\sigma$ (FWHMの $1/2$ で記載してある) と、保磁力角形比 S^* との関係を測定した結果を示す図である。 S^* は、長手媒体に対しては VSMメジャー・ループ測定結果から導き出し、垂直媒体に対しては飽和磁化の測定値に反磁界補正を行って導出した。図13中、A、B、Cの符号は、実施例5で用いた符号と同様である。

【0211】本発明の媒体についての測定は、平均粒径 D が $12 \sim 13 \text{ nm}$ 、粒子間距離の分散 $C\sigma$ が $\pm 30\%$ (FWHM: 60%) 以下である媒体試料について行った。

【0212】保磁力角形比 S^* は、磁性粒子の H_c の分散に対応する量である。保磁力角形比 S^* は、粒径が十分大きい範囲では粒子の磁気特性の分散(例えば結晶磁気異方性の分散)を反映するが、粒径自体には依存しない。また、粒径が小さくなって室温熱擾乱による H_c 低下が発生する場合には、 S^* は粒径依存性を示す。

【0213】図13に示されているように、本発明の媒体においては、平均粒径 D が $12 \sim 13 \text{ nm}$ と小さくても、粒径分散が $\pm 20\%$ (FWHM: 40%) に調整されている場合には S^* は大きな値を示す。このことより、逆に粒径分散が $\pm 20\%$ よりも大きくなると本発明においても H_c の小さい磁性粒子成分が発生して、 S^* を低下させることがわかる。

【0214】従来媒体においては、粒径分散は $\pm 25\%$ 以上あり、熱擾乱で H_c が低下している粒子がかなり含まれていることが分かる。また、従来媒体においては、同じ粒径分散において S^* が本発明の媒体のそれよりも小さい値を示している。これは、従来媒体では粒径分散だけではなく粒子間距離の分散も大きく、粒子と粒子とが接触して H_c が見掛け上大きくなっている成分も含むために、 H_c の分散がより大きくなったことによる

と考えられる。

【0215】 S^* は、磁気記録特性上は記録感度に関連する量である。 H_c が同じ場合には S^* が大きいほど記録感度とオーバーライト消去比が向上するため、ヘッドの記録能力にもよるが、 S^* は0.5以上であるのが良い。従って、図8の結果より、本発明の規則的粒子媒体においても粒径分散は $\pm 35\%$ 以下 (FWHMで 70% 以下) とすることが好ましく、さらに好ましくは S^* が高い一定値を示す $\pm 20\%$ 以下 (FWHMで 40% 以下) とするのが良いことが分かる。

【0216】(実施例8) MRヘッドを用いて、本発明に係る媒体の記録再生特性を評価した。用いたMRヘッドは、記録トラック幅: $1.3 \mu\text{m}$ 、再生トラック幅: $1.0 \mu\text{m}$ 、再生ギャップ: $0.1 \mu\text{m}$ のAMR再生部を有する試作品である。このヘッドは、トラック間のガードバンド幅を $0.15 \mu\text{m}$ としたときに、 4.3 Gb/in^2 の面密度まで記録再生能力を有する。また、このヘッドは基本的には長手記録用に設計されたヘッドだが、垂直媒体の記録再生にも使用可能であることは言うまでもない。垂直媒体、特に磁性体の下側に NiFe 軟磁性膜、 NiFeCo 半硬磁性膜を有する構造の本発明の垂直媒体に対しては、単磁極ヘッドで記録するのが好ましい。しかし、本発明の媒体ノイズ特性の評価においては長手用のリングタイプヘッドを使用することもできるので、本発明の垂直媒体に対してもこのヘッドを用いることとした。

【0217】このヘッドで記録可能な最小記録セルサイズは $1.3 \mu\text{m} \times 0.1 \mu\text{m}$ であり、すなわち、最小記録セルは $1.3 \times 10^5 (\text{nm}^2)$ の面積を有する。本発明の規則的磁性粒子媒体においては、磁性粒子間隔が $12 \sim 60 \text{ nm}$ であるため、最小記録セル中に含まれる磁性粒子数は $36 \sim 902$ となる。

【0218】記録再生特性の測定条件は、ディスク回転数: 1800 rpm 、記録半径位置: 22 mm 、ヘッド浮上量 25 nm である。記録は記録周波数を変えて行い、各周波数における規格化媒体ノイズを調べた。記録電流は、カーバライト消去比が -40 dB 以上 (マイナス側に) になる飽和記録電流とした。規格化媒体ノイズは、全周波数帯域に渡って積分した媒体ノイズ (N_m) の値を低域の信号出力 (S_0) で除した値であり、再生トラック幅単位長 ($1 \mu\text{m}$) 当りに規格化した値である。

【0219】図14は、媒体の空間記録周波数 $L D$ と規格化媒体ノイズとの関係を測定した結果の一例を示す図である。図14中、A、B、Cの符号は、図10で用いた符号と同様である。

【0220】本実施例において測定された発明の媒体は、磁性粒子の平均粒径が 15 nm 、粒径分散が FWHM: 25% 、粒子間の平均距離が 18 nm 、粒子間距離の分布の分散が FWHM: 50% に調整されているもの

である。

【0221】図14より、従来媒体に比べて本発明の媒体は格段に低ノイズであることが分かる。これは、本発明の媒体は、従来媒体に比べて、粒径分散、粒子間距離の分散が抑制され、磁性粒子が規則的に配列しているためである。

【0222】図14に示されているように、本発明の媒体においては、CoFe粒子を用いた媒体（曲線A）およびCoPt粒子を用いた媒体（曲線B）の両方についてノイズが極めて低いが、CoPt粒子を用いた媒体（曲線B）の方がCoFe粒子を用いた媒体（曲線A）よりもより低ノイズである。これは、図10に示されているように、CoPt粒子媒体（図10の曲線B）の方がCoFe粒子媒体（図10の曲線A）よりもMrtが小さく、従って、CoPt粒子媒体においてより磁化転移幅が狭く、またよりシャープな磁化転移が形成されているためと考えられる。

【0223】（実施例9）図15は、本発明に係る磁気媒体を250kfc iの空間記録周波数で記録したときの、規格化媒体ノイズと平均粒径Dとの関係を調べた結果を示す図である。

【0224】本発明の媒体についての測定は、粒径分散がFWHMで25%以下、粒子間距離の平均値が平均粒径D+（1~3nm）、粒子間距離の分散がFWHMで50%以下に調整されている媒体について行った。

【0225】図15より、空間周波数が250kfc iである場合、すなわち記録セル長がほぼ0.1μmの場合には、平均粒径が25nm程度以下においてノイズレベルは極めて低いが、25nm以上ではノイズレベルは急激に高くなることが分かる。

【0226】規格化媒体ノイズと空間記録周波数との関係を測定したところ（測定結果は図示せず）、本発明の規則的磁性粒子媒体においても、磁性粒子径が記録セル長の1/4よりも大きくなるとノイズレベルが増加した。この結果より、本発明の媒体において低ノイズ効果が顕著に現れるためには、磁性粒子の粒径が記録セル長の1/4以下であることが良いことが分かる。トラック幅方向に並ぶ磁性粒子の粒子数は、記録するときのトラック幅が最短記録セル長よりも短くならない限り、なんら制限は受けない。従って、最小記録セル中のトラック幅方向の磁性粒子数の下限は4個であることが分かる。実際には、数10個以上の磁性粒子が最小記録セルのトラック幅方向に並ぶ。

【0227】（実施例10）図16は、磁性粒子の粒径分散Dσ、粒子間距離の分散C'σ、および媒体ノイズの間の関係を測定した結果を示す図である。測定は、粒径が記録セル長の1/4以下、粒子間距離が粒径+（1~3nm）に調整された本発明の媒体と空間記録周波数を選んで行った。

【0228】図16において、実線は本発明の規則的磁

性粒子媒体についての測定結果を規格化媒体ノイズの等高線としてまとめたものである。また、図16プロットは、従来媒体のうち低ノイズだった媒体についての測定結果である。

【0229】図16の結果より、本発明の媒体において低ノイズ効果が明確に現れるためには、粒径の分散が±20%以下（FWHMで40%以下）、粒子間距離の分散が±40%以下（FWHMで80%以下）であることが好ましいことが分かる。なお、より好ましくは、粒径の分散が±10%以下（FWHMで20%以下）、粒子間距離の分散が±20%以下（FWHMで40%以下）であり、最も好ましくは、粒径の分散が±5%以下（FWHMで10%以下）、粒子間距離の分散が±10%以下（FWHMで20%以下）であることも分かる。

【0230】また、図16において、従来媒体についてのノイズは、同程度の分散量を有する本発明の媒体よりも高い。これは、本発明が磁性粒子の規則的配列を基本とし、分散は規則的配列位置からのズレ量を示しているのに対して、従来媒体は基本的に不規則配列を有するためであると考えられる。

【0231】なお、図16に示す結果は、現時点で試作可能な磁気ヘッドを用いて測定した結果である。従って、将来、より狭いヘッドギャップを有し再生分解能がより向上している磁気ヘッドを用いて測定した場合には、図16の規格化媒体ノイズの等高線はより大きな値にシフトすると考えられる。従って、このようなヘッドを用いて記録する場合には、粒径と粒子間距離の分布がより狭く設定された磁気媒体を用いるべきである。

【0232】＜規則的非磁性ボアの作製＞

（実施例11）前述の規則的非磁性ボア媒体の製造方法に従って、規則的非磁性ボアを作製した。磁性材料としてはCoPtとTbCoを用いた。CoPtの場合には、規則的磁性粒子媒体の場合と同様に、シード層材料、シード層の膜厚、磁性層の厚さ、磁性層の成膜条件で磁化容易軸を設定した。TbCoを用いた場合は特にシード層は設けずに垂直磁化膜を形成した。

【0233】＜規則的非磁性ボアの評価＞作製した規則的非磁性ボア媒体の試料の評価を、規則的磁性粒子媒体の評価に準じて行った。規則的非磁性ボア媒体の微細構造の評価は、平均ボア径（P'）、ボア径分布のFWHM（P'σ）、平均ボア間隔（C）、ボア間隔分布のFWHM（C'σ）を用いて行った。これらのパラメータの値は、実施例1で求めた自己組織化マスクの有する各パラメータ、すなわち、平均孔径、孔径分布のFWHM、平均孔間隔、孔間隔分布のFWHMに、プロセス変動による値を加味した値となる。本実施例におけるP'、P'σ、C、C'σの範囲は、実施例3で求めた規則的磁性粒子媒体の平均粒径D、粒径分布のFWHM Dσ、磁性粒子間の平均距離C、磁性粒子間距離の分布のFWHM C'σの範囲とほぼ同等であった。

【0234】(実施例12) まず、磁壁の評価のためにMFM観察を行った。MFM観察の結果、TbCoを磁性体に用いた場合には、磁壁の幅は、組成比、膜厚に依存するが、補償組成となる組成比の極く近傍を除いて、10~20nmであった。また、CoPtを磁性体に用いた場合には、磁壁の幅は7~13nmであった。磁壁の幅は異方性エネルギーが大きいほど狭く、例えばCoPtでもCo:50at%の組成の場合には磁壁幅は5~10nmとなり、また磁気異方性の大きいSmCoを用いた場合には、磁壁の幅は3~6nmとなると推定される。このように、本発明における非磁性ボア径は、用いる磁性体の種類によって様々に調整できることが分かる。

【0235】(実施例13) 非磁性ボア間の平均間隔 C' と、残留磁化と膜厚の積(Mrt)との間の関係を測定した。測定結果は、図10に示した規則的磁性粒子媒体についての C' とMrtとの間の相関と逆の相関を示した。すなわち、 C' が大きいほど磁性体の占有比率が増加するため、Mrtは増加した。Mrtと C' との関係は、計算から予測される通りとなり、規則的非磁性ボア媒体においてもMrtの適切な調整が容易であることが分かった。

【0236】(実施例14) 非磁性ボアの平均ボア径 P' と保磁力 H_c との間の関係を測定した。測定結果は、図11で示した規則的磁性粒子媒体についての平均粒径 D と保磁力 H_c との間の関係と同様の関係を示した。すなわち P' が磁壁幅の1/2以下において、 H_c は低下した。これは、非磁性ボア径が磁壁幅の1/2以上のときには、非磁性ボアが磁壁のピンニングサイトとして作用するため大きな H_c を発現するが、ボア径が磁壁幅の1/2未満では、磁壁がボアでピンニングされずに自由に動いてしまうために、 H_c は低下することによるものである。

【0237】(実施例15) 非磁性ボア間隔の分散 C' と、非磁性ボアの活性化サイズ D_a と平均ボア径 P' との比 D_a/P' との間の関係を測定した。測定結果は、図12に示す D_a と比べて極めて大きな値の D_a を示した。これは、磁性母材が膜面全域において連結しているために D_a の値が非常に大きいからである。測定結果より、本発明の規則的非磁性ボア媒体においては、多粒子系もしくは規則的磁性粒子媒体とは異なり、熱擾乱の影響が全くないことが明らかとなった。

【0238】(実施例16) 非磁性ボア間隔の分散 C' と、保磁力角形比 S^* との間の関係を測定した。測定結果は、平均ボア径 P' が小さいときには、図13で示した規則的磁性粒子媒体についての結果と同様に、ボア径分散 P' が大きくなるにつれて S^* が低下した。これは、ボア径分散 P' が大きくなるにつれて、磁壁幅の1/2未満のボア径が出現することに起因するものである。しかし、平均ボア径 P' が比較的大きい場合、ま

たはボア径分散 P' が十分小さい場合には、 S^* は1に近い値を示した。

【0239】(実施例17) 規則的磁性粒子媒体の評価に使用したMRヘッドを用いて、非磁性ボア媒体の空間記録周波数 L_D と規格化媒体ノイズとの関係を測定した。測定結果は、ボア径が磁壁幅の1/2~3倍の間に調整され、かつボア間間隔の分散が C' が $\pm 40\%$ (FWHMで80%)以下に調整されている場合には、図14の規則的磁性粒子媒体についての測定結果と同様に、低ノイズ性能を示した。

【0240】(実施例18) 図17は、非磁性ボア媒体について、250kfc iでの規格化媒体ノイズと、平均ボア径 P' と磁壁幅 δ との間の比 P'/δ との関係を示す測定結果である。測定は、ボア間隔分布のFWHM(C')が80%以下に調整されている媒体について行った。

【0241】図17から、 P'/δ が1/2~3の範囲においては、本発明に係る非磁性ボア媒体は良好な低ノイズ性能を示すことが分かる。 P'/δ が1/2未満においてノイズが上昇するのは、磁壁がボアによってピンニングされずに動いてしまうため、磁壁の位置が定まらずに磁化転移部が乱れるためである。また、 P'/δ が3よりも大きい場合にノイズが上昇するのは、磁壁はボアにピンニングされていて磁壁部の磁化転移部の形状は良好であるが、ボア径が大きすぎるために非磁性ボア自体がノイズ源となるからである。

【0242】(実施例19) 図18は、非磁性ボア媒体について、250kfc iにおける規格化媒体ノイズとのボア間隔分布のFWHM(C')との間の関係を示す測定結果である。測定は、 P'/δ が1/2~3の範囲に調整されている非磁性媒体について行った。

【0243】図18に示されているように、 C' が80%以下においては C' の増加に伴ってノイズは緩やかに増加し、 C' が80%を上回るとノイズは急激に増加する。

【0244】SEM観察とMFM観察の結果、 C' が80%を上回ると、ボア径にも依存するが、ボアが互いに連結するために実質的なボア径が過大となってボア自体がノイズ源となること、および磁化転移に沿って配列するボア以外のボア間において磁壁が互いに連結するために磁化転移の形状が乱れることが分かった。

【0245】

【発明の効果】以上、詳述したように、本発明によれば、 S/N を向上し高密度化を実現することが可能な気記録媒体およびその製造方法が提供される。その結果、磁性粒子を過度に微細化することなく、磁性粒子の異方性エネルギーを過度に増加させることなく、メモリ動作温度内での実用的な熱擾乱耐性とシステムの要求する媒体 S/N を両立することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る規則的磁性粒子媒体の一例を示す概略図。

【図2】本発明に係る規則的非磁性ポア媒体の一例を示す概略図。

【図3】本発明に係る陽極酸化バリア層およびポーラスアルマイトの一例を示す概略断面図。

【図4】本発明に係るメタルリングを示す概略図。

【図5】本発明に係る製造方法の一例を示すプロセスフロー図。

【図6】本発明に係る磁気ディスクのサーボパターンの一列を示す概略図。

【図7】本発明に係る規則的磁性粒子媒体を製造するための装置の一例を示す概略図。

【図8】本発明の実施例において試作したマスクのSEM像を示す図。

【図9】本発明の実施例において試作した規則的磁性粒子媒体のSEM像を示す図。

【図10】本発明の実施例において規則的磁性粒子媒体を評価した結果を示す図。

【図11】本発明の実施例において規則的磁性粒子媒体を評価した結果を示す図。

【図12】本発明の実施例において規則的磁性粒子媒体を評価した結果を示す図。

【図13】本発明の実施例において規則的磁性粒子媒体を評価した結果を示す図。

【図14】本発明の実施例において規則的磁性粒子媒体を評価した結果を示す図。

【図15】本発明の実施例において規則的磁性粒子媒体を評価した結果を示す図。

【図16】本発明の実施例において規則的磁性粒子媒体を評価した結果を示す図。

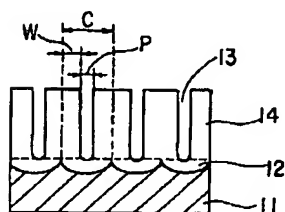
【図17】本発明の実施例において規則的非磁性ポア媒体を評価した結果を示す図。

【図18】本発明の実施例において規則的非磁性ポア媒体を評価した結果を示す図。

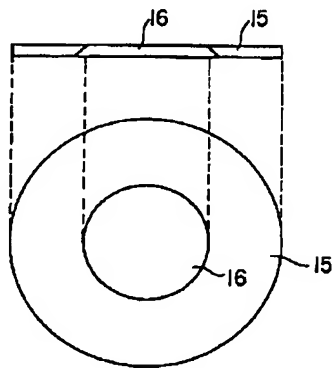
【符号の説明】

- 1…基板
- 2…シード層
- 3…磁気記録層
- 4…非磁性マトリックス
- 5…磁性粒子
- 6…保護層
- 7…最小記録セル
- 8…連続状磁性膜
- 9…非磁性ポア
- 10…磁壁
- 11…A1板
- 12…バリア層部
- 13…微小孔
- 14…ポーラスアルマイト部
- 15…メタルリング
- 16…開口部
- 20…真空容器
- 21…誘導加熱型蒸発源
- 22…ヒーター
- 23…ルツボ
- 24…シャッター
- 25…RF電源
- 26…蒸発試料
- 27…超伝導体部
- 28…コールドヘッド
- 29…超伝導体
- 30…磁気ディスク基板
- 31…磁界印加用コイル
- 32…磁界

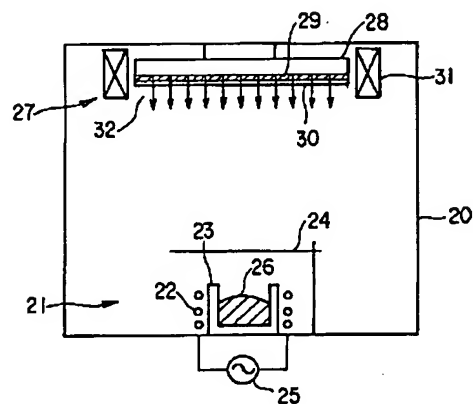
【図3】



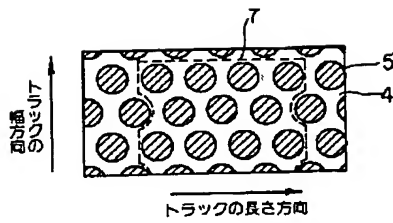
【図4】



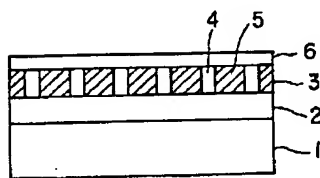
【図7】



【図1】

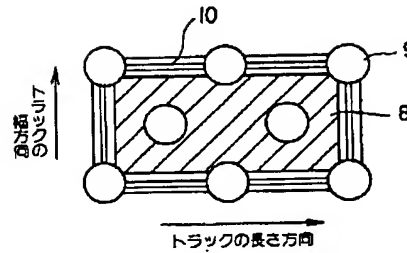


(a)

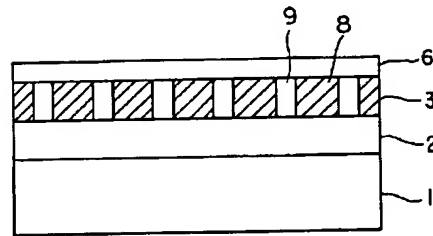


(b)

【図2】

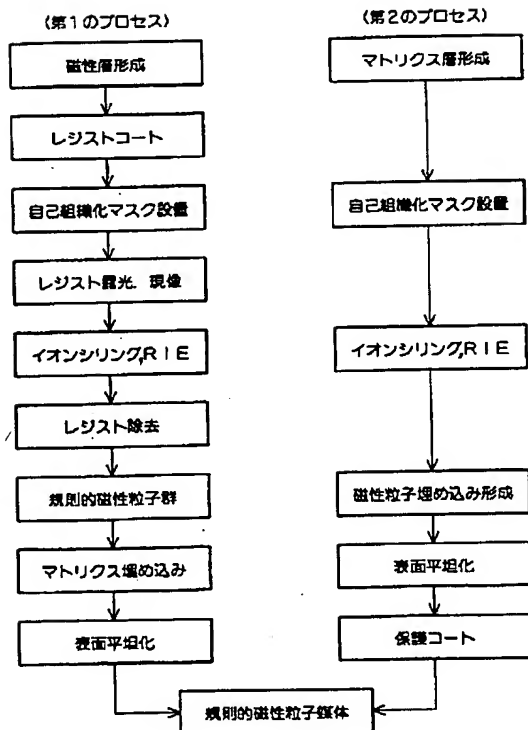


(a)

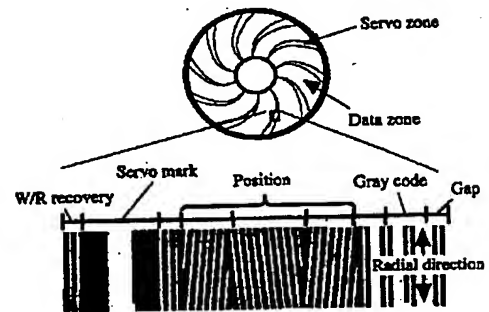


(b)

【図5】



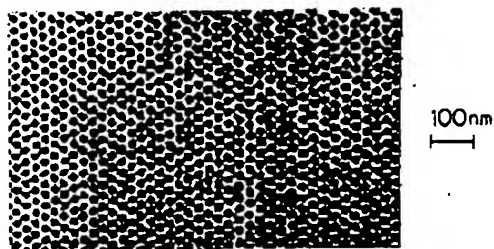
【図6】



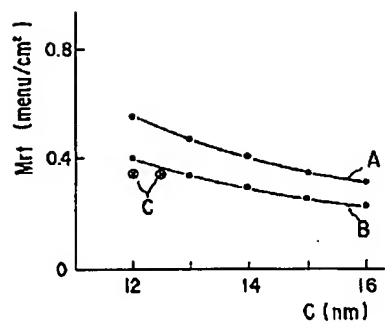
【図8】



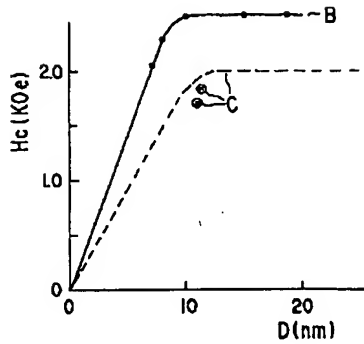
【図9】



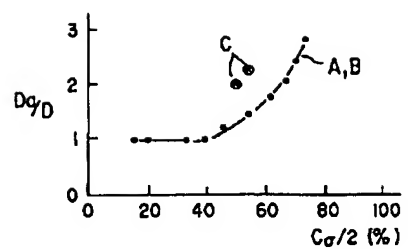
【図10】



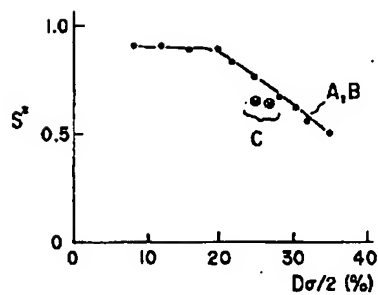
【図11】



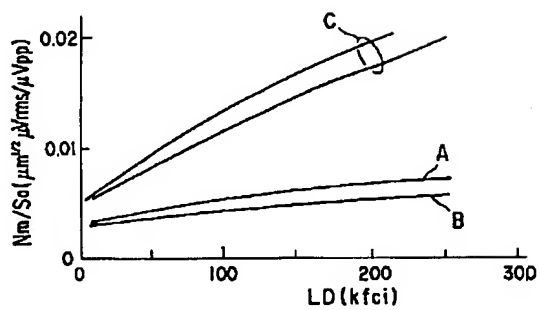
【図12】



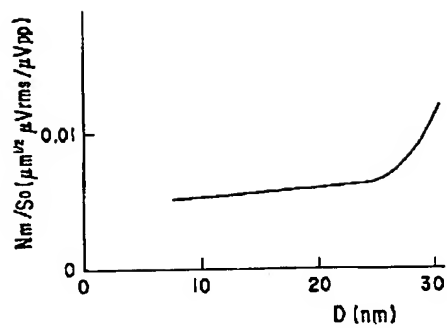
【図13】



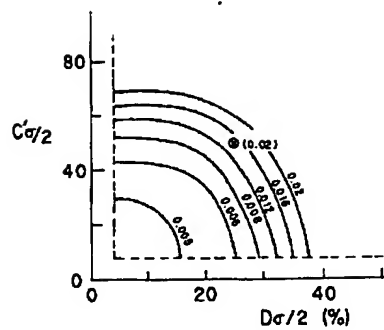
【図14】



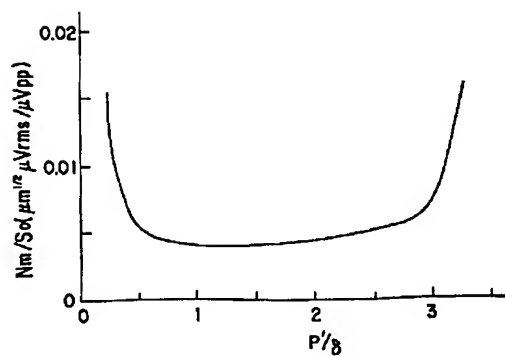
【图15】



【图16】



【图17】



【图18】

